



Bruno Miguel Batista de Almeida

Licenciado em Ciências de Engenharia Eletrotécnica
e de Computadores

***Interação entre a Via Pública e Veículos
através de Wi-Fi***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor Filipe de Carvalho Moutinho,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-Orientador: Doutor Rogério Alexandre Botelho
Campos Rebelo, Investigador,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Paulo da Costa Luís da Fonseca Pinto

Arguente: Prof. Doutor João Almeida das Rosas

Vogal: Prof. Doutor Filipe de Carvalho Moutinho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2017

Interação entre a Via Pública e Veículos através de Wi-Fi

Copyright © Bruno Miguel Batista de Almeida, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, e ao seu Conselho Pedagógico por proporcionarem um programa de curso bastante atrativo, complementado pelas competências transversais.

Não seria possível chegar a este momento sem agradecer aos meus orientadores, Filipe Moutinho e Rogério Campos-Rebelo, pela paciência e por terem acompanhando o trabalho realizado ao longo de dois semestres.

Como os amigos são a família que nós escolhemos, eu não poderia deixar de lhes agradecer: obrigado Ana Ferreira, Belchior, Catarina Vera, Carlos, Edna, Gisela, Miguel Vieira, Renata e Tiago Pereira por todos os momentos que passámos juntos e por toda a ajuda que me deram ao longo do curso.

Um sincero e profundo obrigado à minha família e amigos de fora da faculdade por todo o apoio, principalmente nos dias nos quais eu requeria mais paciência e compreensão.

E, por último, e talvez a mais importante, a pessoa que acompanhou todo o meu crescimento pessoal e intelectual e que me fez crescer, a Guida. Obrigado por todos os momentos que passámos juntos.

Resumo

Neste trabalho estudou-se a viabilidade da interação entre veículos e sinais de trânsito inteligentes através de Wi-Fi. Verificou-se que é adequado ter os sinais como pontos de acesso Wi-Fi e os veículos como clientes Wi-Fi. Verificou-se, ainda, que é possível a um veículo, em tempo útil, detetar as redes Wi-Fi dos sinais de trânsito ao seu redor, efetuar a ligação a um sinal, enviar e receber dados. Com o intuito de validar as propostas apresentadas nesta dissertação, foi desenvolvido um protótipo constituído por dois módulos que permite que o veículo, ao passar pelo sinal de trânsito, receba informação e a disponibilize ao condutor. A implementação da tecnologia a ser utilizada é constituída por um sistema Wi-Fi, utilizando o protocolo HTTP e o método POST. As mensagens são trocadas em formato JSON e incluem, entre outras, a posição de GPS e a velocidade do veículo, e o tipo de sinal de trânsito (por exemplo proibição ou obrigação). Utilizou-se o módulo ESP8266 para o protótipo a ser instalado no veículo e foram testados e comparados os módulos ESP8266, Raspberry Pi 2 e 3 para a integração no sinal de trânsito. Em ambiente real, o Raspberry Pi 3 revelou-se a melhor solução para integrar este sistema sem proteção na rede gerada, com uma resposta mais rápida e uma taxa de sucesso elevada a uma velocidade de 100 km/h. Definiu-se, assim, uma nova interação que pode existir entre veículos e sinais de trânsito, desenvolvendo-se um protótipo capaz servir as especificações impostas.

Abstract

The introduction of traffic signs capable of sending information to vehicles can help drivers to comply with the traffic rules. In this work it was studied the viability of the interaction between smart traffic signs and vehicles thru Wi-Fi. Is possible for a vehicle to detect the surrounding traffic signs, connect to them and exchange information in reasonable time. The developed prototype was use to validate the theory presented in this thesis, which consists in two modules that allow the vehicle to receive information when passing thru a traffic sign. The implementation used Wi-Fi, HTTP protocol and the POST method. The messages were exchange thru the JSON format and include GPS information of the vehicle, its speed at the time of the communication and the kind of traffic sign that we are trying to connect. It was used an ESP8266 module for the vehicle and a Raspberry Pi 2 or 3 for the traffic sign. In real conditions, the Raspberry Pi 3 at a speed of 100 km/h showed up the best results allowing a fast response of the system.

Índice Geral

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | ii |
| Resumo..... | iv |
| Abstract | vi |
| Índice Geral..... | viii |
| Índice de Figuras | x |
| Índice de Tabelas..... | xii |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Contextualização | 1 |
| 1.2 Motivação..... | 2 |
| 1.3 Objetivos | 2 |
| 1.4 Estrutura do Documento..... | 4 |
| 2 Trabalhos Relacionados | 5 |
| 2.1 Reconhecimento de Sinais de Trânsito por leitura ótica | 6 |
| 2.2 Convel | 6 |
| 2.3 EAR-IT..... | 7 |
| 2.4 CVIS..... | 8 |
| 2.5 COOPERS | 9 |
| 2.6 SAFESPOT | 10 |
| 2.7 CAPTIV | 11 |

| | | |
|------|---|----|
| 2.8 | Via Verde | 12 |
| 2.9 | Sistema de Aviso de Sinais de Trânsito por Wi-Fi | 13 |
| 2.10 | Comunicações Wireless para ITS..... | 13 |
| 2.11 | Síntese comparativa dos projetos relacionados | 14 |
| 3 | Contribuição..... | 15 |
| 3.1 | Tecnologia de comunicação utilizada – Wi-Fi..... | 15 |
| 3.2 | Modos de interação entre veículos e sinais de trânsito..... | 16 |
| 3.3 | Funcionamento dos módulos..... | 18 |
| 3.4 | Procura e seleção de rede | 19 |
| 3.5 | Nomes das redes Wi-Fi | 20 |
| 3.6 | Mensagens..... | 20 |
| 3.7 | Protótipo..... | 22 |
| 4 | Testes Realizados e Análise de Resultados..... | 31 |
| 4.1 | Tempo de ligação do Wi-Fi do Carro-Sinal de Trânsito | 32 |
| 4.2 | Tempos de Totais Com e Sem Proteção na Rede Gerada Pelo Sinal de Trânsito em Diferentes Plataformas | 34 |
| 4.3 | Testes de Funcionamento em Ambiente Real | 38 |
| 5 | Conclusão e perspectivas futuras | 45 |
| | Referências..... | 49 |
| | Anexos..... | 53 |
| | Anexo 1 – Código ESP - Veículo..... | 53 |
| | Anexo 2 – Código ESP - Sinal de Trânsito..... | 57 |
| | Anexo 3 – Código ESP Final – Veículo..... | 59 |
| | Anexo 4 – Teste ESP ↔ Raspberry Pi 2 – Com Procura de Rede, Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório | 67 |
| | Anexo 5 - Teste ESP ↔ Raspberry Pi 2 – Com procura de Rede, Não Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório..... | 69 |
| | Anexo 6 – Teste ESP ↔ Raspberry Pi 3 – Com procura de Rede, Não Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório..... | 71 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Exemplo de interação entre veículo e sinal de trânsito em que a informação recebida fica disponível no veículo, para informar o condutor. | 3 |
| Figura 1.2 – Exemplo da transmissão de informações antecipadas ao veículo através de um sinal de trânsito. | 3 |
| Figura 2.1 – Esquema ilustrativo do funcionamento do sistema Convel (Adaptado de [8]). | 7 |
| Figura 2.2 – Sistema de comunicação COOPERS (Adaptado de [16]) | 10 |
| Figura 2.3 - Comunicações SAFESPOT (Adaptado de [12]) | 11 |
| Figura 2.4 - Equipamentos constituintes do sistema Via Verde..... | 12 |
| Figura 3.1 - Fluxograma do ciclo de Funcionamento do módulo do veículo..... | 16 |
| Figura 3.2 – Diagrama de Sequência incluindo apenas o processamento dos nomes das redes veiculares – Modo de interação simples..... | 17 |
| Figura 3.3 – Diagrama de Sequência da Interação Completa entre o Veículo e o Sinal de Trânsito. | 18 |
| Figura 3.4 – Diagrama de sequência da interação entre um veículo e um sinal de trânsito | 19 |
| Figura 3.5 - Diagrama explicativo da correspondência entre parâmetros e atributos da mensagem a ser enviada pelo veículo ao sinal de trânsito | 21 |
| Figura 3.6 - Diagrama explicativo da correspondência entre parâmetros e atributos da mensagem a ser enviada pelo sinal de trânsito ao veículo | 21 |
| Figura 3.7 – Circuito do protótipo a utilizar no veículo (Adaptado de: [27]) | 23 |
| Figura 3.8 - Módulo ESP8266-01 | 24 |
| Figura 3.9 - GPS MT3329..... | 25 |
| Figura 3.10 - Protótipo a instalar no Sinal de Trânsito | 25 |
| Figura 3.11 - Raspberry Pi 2 | 26 |
| Figura 3.12 - Pen Wi-Fi utilizada para conectar ao Raspberry | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.13 - Esquema representativo dos sentidos da comunicação | 28 |
| Figura 3.14 - Esquema representativo da mensagem enviada pelo carro ao sinal de trânsito..... | 29 |
| Figura 3.15 - Esquema representativo da mensagem enviada pelo sinal de trânsito ao carro..... | 29 |
| Figura 4.1 - Gráfico ilustrativo da comparação entre o tempo de conexão para os módulos Raspberry Pi 2 com proteção de rede (“Com Pass Raspberry Pi 2”, a azul) e para o módulo Raspberry Pi 2 sem proteção de rede (“Sem Pass Raspberry Pi 2”, a cor-de-laranja). As velocidades comparadas para ambos os módulos foram de 50, 70 e 100 km/h. | 41 |
| Figura 4.2 - Gráfico ilustrativo da comparação, sem proteção de rede, entre o tempo de Wi-Fi, conexão e comunicação para os módulos Raspberry Pi 2 (a azul) e para o módulo Raspberry Pi 3 (a cor-de-laranja). A velocidade usada para ambos os módulos foi de 100 km/h..... | 42 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Comparativo entre Tecnologias Wireless | 14 |
| Tabela 4.1 - Tempos de Ligação ESP-ESP. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos..... | 32 |
| Tabela 4.2 – Tempos de Ligação ESP-Raspberry 2. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos..... | 33 |
| Tabela 4.3 - Tempos de Ligação ESP-Raspberry com mecanismo de procura de rede. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos... | 33 |
| Tabela 4.4 - Tempos de Ligação Totais Utilizando o Raspberry Pi 2 com palavra-passe na rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos..... | 35 |
| Tabela 4.5 -Tempos de Ligação Totais a Plataforma Raspberry Pi 2 sem Palavra-Passe na rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos..... | 36 |
| Tabela 4.6 - Tempos de Ligação Totais a Plataforma Raspberry 3 Sem Palavra-Passe na Rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos..... | 37 |
| Tabela 4.7 - Taxas de Sucesso em Ambiente Real a Diferentes Velocidades Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma Raspberry Pi 2. Foram realizadas 10 medições em cada uma das velocidades..... | 39 |
| Tabela 4.8 - Taxas de Sucesso em Ambiente Real a Diferentes Velocidades Não Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma Raspberry Pi 2. Foram realizadas 15 medições em cada uma das velocidades..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Tabela 4.9 - Tempos de Ligação Wi-Fi da Plataforma ESP à plataforma Raspberry 3 com respectiva análise das redes envolventes. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de procura e análise foi medido em segundos..... | 43 |
|--|----|

1 Introdução

1.1 Contextualização

Desde sempre, o ser humano teve e terá a necessidade de se deslocar. Com o passar do tempo e com o aparecimento dos veículos motorizados, a mobilidade humana aumentou. Repare-se que com o avanço da tecnologia, começou a ser possível percorrer longas distâncias, de uma forma mais simples e mais rápida.

Com o constante aumento do número de veículos nas estradas, surge a necessidade de regulamentar a interação entre eles, de forma a garantir a segurança dos seres humanos. Neste sentido, os sinais de trânsito apareceram como resposta à necessidade de regulamentação de modo a informar, avisar e obrigar os condutores a cumprir certas regras para um bem-estar comum nas estradas.

Ao longo dos anos, os sinais de trânsito têm permanecido quase inalterados. Com o avanço da tecnologia, começam a aparecer alguns sinais tecnologicamente mais evoluídos, como algumas placas luminosas com sinais e avisos em tempo real. Não obstante, uma observação mais profunda permite constatar o carácter ainda pouco dinâmico destes sistemas.

Contrariamente a estas características, tendencialmente imutáveis dos sinais de trânsito, tem-se verificado cada vez mais um crescente interesse nas técnicas de apoio à condução. Entre estas técnicas, ilustramos o caso do estacionamento automático, a leitura ótica de sinais de trânsito, o *cruise-control*, entre outras. Estas têm como principais objetivos a diminuição do número de acidentes rodoviários, a redução do tempo para percorrer um percurso e o aumento da comodidade e segurança dos utilizadores dos veículos, entre outros.

1.2 Motivação

Os acidentes rodoviários são maioritariamente (e quase exclusivamente) causados por erro humano [1]. As técnicas de apoio à condução previnem a ocorrência deste tipo de erros o que leva a que estes ocorram com menos frequência ou que possam ser corrigidos de uma forma mais eficiente.

As principais soluções do mercado para combater o erro humano inerente à condução são feitas à custa de câmaras que obtêm imagens das faixas de rodagem (dos sinais de trânsito, dos veículos, etc.), enquanto os veículos se encontram em movimento nessas mesmas vias. Estas imagens são depois processadas e a informação é disponibilizada ao condutor ou transmitida ao veículo.

A necessidade de criar sistemas complementares e alternativos à captação e processamento de imagens (por exemplo, dos sinais de trânsito) surge dado que os sistemas atuais são falíveis. A fiabilidade de um sistema é testada quando surgem problemas que não estão relacionados diretamente com o sistema, mas com o ambiente envolvente. Um exemplo das imperfeições destes sistemas são as leituras óticas tardias ou ineficientes quando as situações climáticas são adversas para o mecanismo processar corretamente a informação.

1.3 Objetivos

Partindo das permissas expostas anteriormente, e da problemática apresentada, este trabalho investigativo elencou como principal objetivo o estudo da viabilidade da interação entre veículos e sinais de trânsito inteligentes através de *Wi-Fi*. A escolha desta tecnologia sem fios para este trabalho surgiu em detrimento do realce que teve em vários projetos europeus, tal como será apresentado no **Capítulo 2** deste trabalho. Enumeramos, como objetivos mais específicos, a necessidade de definir que parte do sistema (veículo ou sinal) deveria tomar a iniciativa de comunicar e uma sequência de mensagens que permita a troca de informação entre o veículo e o sinal.

Tendo em conta os objetivos traçados e caso seja viável, o condutor poderá receber as informações no veículo antes até de as adquirir visualmente e poderá tê-las sempre disponíveis num sistema de monitorização. Assim, a **Figura 1.1** ilustra uma situação em que o veículo recebe e disponibiliza sempre as informações que recebeu do último sinal de trânsito (velocidade máxima 60km/h) pelo qual passou, tendo o condutor, assim, essa informação sempre disponível.

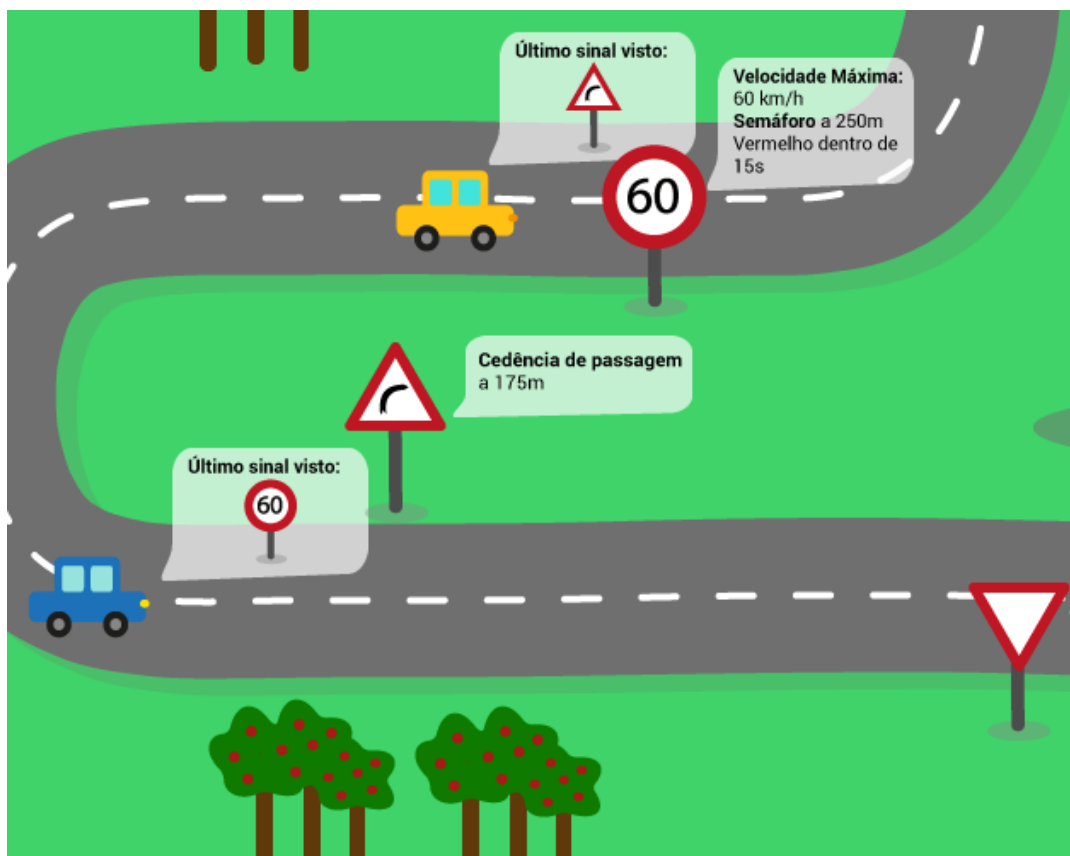


Figura 1.1 – Exemplo de interação entre veículo e sinal de trânsito em que a informação recebida fica disponível no veículo, para informar o condutor.

Um outro exemplo de uma situação, no mundo real, onde esta tecnologia pode ser aplicada é ilustrado na **Figura 1.2**. Neste exemplo, o veículo de trás poderia receber de um sinal de trânsito, a informação sobre um veículo avariado na via, por exemplo, após uma curva apertada de baixa visibilidade. Deste modo, o utilizador do veículo poderia tomar medidas preventivas necessárias e adequar a sua condução a esta ou outras situações temporárias na via.

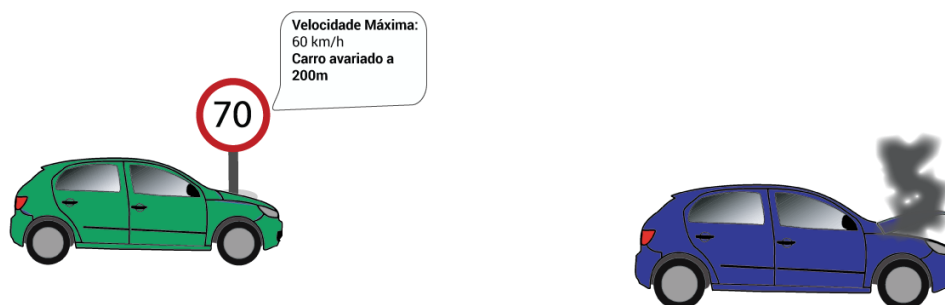


Figura 1.2 – Exemplo da transmissão de informações antecipadas ao veículo através de um sinal de trânsito.

Outro propósito traçado neste trabalho consiste no desenvolvimento um conjunto de protótipos a ser instalados em sinais de trânsito e veículos, de forma a validar as propostas deste trabalho. Para desenvolver estes protótipos foi necessário identificar: (1) um protocolo de comunicação que suporte a comunicação entre os veículos e os sinais de trânsito; (2) um formato de dados adequado para as mensagens; (3) uma estrutura de dados para as mensagens; (4) uma ou mais plataformas microcontroladas, sensores e atuadores, que suportassem a implementação dos protótipos.

1.4 Estrutura do Documento

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos. Em linhas gerais, o primeiro capítulo consiste na Introdução. No **Capítulo 2** são discutidos e apresentados os principais projetos europeus, bem como outros projetos de interesse que contribuíram para o desenvolvimento do labor investigativo.

No **Capítulo 3**, intitulado Contribuição, são apresentados e definidos os modos de interação entre veículos e sinais de trânsito, o funcionamento dos módulos, as mensagens trocadas e ainda o protótipo que foi desenvolvido.

O **Capítulo 4** é inteiramente dedicado à análise e apresentação dos testes realizados, quer em ambiente real, quer em ambiente de laboratório.

Em última instância, o 5º capítulo é composto pela conclusão da dissertação e ainda uma proposta de trabalho futuro.

2 Trabalhos Relacionados

No âmbito dos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, na sigla inglesa), são utilizados sistemas capazes de comunicar e de relacionar informações obtidas, de pessoas e de veículos, de modo a controlar e auxiliar o trânsito em tempo real [2]. As principais tecnologias utilizadas neste tipo de sistemas são (1) o DSRC (*Dedicated-Short Range Communications*), que tem uma banda da ordem dos 5.0-5.8GHz e que é utilizada para comunicação a curtas distâncias, (2) GPS (na sigla inglesa, *Global Positioning System*) que permite obter a geo-localização dos veículos com uma boa precisão, (3) redes móveis, ainda que seja considerada uma tecnologia lenta para situações em que os utilizadores da via possam estar em perigo e (4) câmeras, para identificarem os sinais de trânsito e os veículos que se encontram presentes nas estradas [2].

Ao longo deste capítulo, abordam-se projetos e trabalhos relacionados com o tema desta dissertação, que está intimamente ligado com os ITS.

Primeiramente, serão abordados os sistemas de reconhecimento de sinais de trânsito por leitura ótica presentes nos veículos. Depois, é explorado um sistema desenvolvido para comboios baseado numa tecnologia sem fios que tem objetivos semelhantes aos do trabalho. Os principais projetos de investigação que decorreram a nível europeu são também um importante ponto de discussão neste capítulo, para permitir a comparação de plataformas e adaptar melhor a informação atual ao projeto a ser desenvolvido. Para conclusão do capítulo, será feita uma análise resumida de todos os projetos discutidos e da tecnologia mais adequada para o desenvolvimento do projecto.

2.1 Reconhecimento de Sinais de Trânsito por leitura ótica

Para haver uma evolução dos veículos tradicionais para os veículos autónomos foi necessário implementar diversos sistemas. Diante dessa panóplia, foi urgente encontrar uma solução para reconhecer os limites de velocidade das estradas e sinais de trânsito, em tempo real. Como resposta a esta necessidade, surgiu, então, o reconhecimento dos sinais de trânsito através das vias óticas, isto é, de câmeras que são instaladas nos veículos.

O reconhecimento de sinais de trânsito pela via ótica tem-se mostrado eficiente, contudo, apesar dos esforços desenvolvidos, ainda persistem diversos problemas no uso desta técnica que passaremos a identificar: (1) as diferentes tipografias, dos sinais de trânsito, que dificultam o reconhecimento dos caracteres, (2) as vibrações que o carro sofre e que afetam a captação de imagens pela câmara, (3) o posicionamento dos diversos sinais de trânsito que pode dificultar o visionamento de outro sinal de trânsito e (4), até mesmo, os efeitos da degradação ao longo do tempo no estado de conservação das câmaras [3]–[5].

Diante este panorama, parece útil a possibilidade de se criar um novo sistema, como o que se pretendeu desenvolver com esta dissertação, que compatibilize com a leitura ótica de modo a torná-lo num sistema redundante, continuando assim, a tirar partido das vantagens da utilização desta técnica.

2.2 Convel

O CONVEL (Controlo automático de velocidade) [6] (**Figura 2.1**), como o próprio nome indica, é um sistema de controlo da velocidade e aplicado no âmbito do cumprimento de normas de trânsito utilizado em comboios. Atualmente, o referido sistema encontra-se implementado nas linhas ferroviárias portuguesas e tem a capacidade de se sobrepôr aos comandos dados pelo operador. A nível físico, o sistema é constituído por emissores sem fios colocados ao longo das linhas, frequentemente denominados por balizas, e por um sistema que recebe as informações a bordo, que se encontra embutido no painel de instrumentos do maquinista. As duas principais situações nas quais este sistema ganha importância são no respeito da sinalização e limites de velocidade. Relativamente à sinalização, é avaliada a distância ao próximo sinal e caso o maquinista não respeite as ordens estabelecidas, o sistema CONVEL irá atuar sobre o sistema de travagem do comboio. Por outro lado, o sistema CONVEL tem sempre disponível a velocidade máxima em cada troço que se está a percorrer; por essa razão, há sempre um controlo relativo à

velocidade. Quando ocorre um incumprimento superior a 5 km/h é ativado um sinal sonoro. Sem embargo, quando o dito incumprimento é superior a 9 km/h, o sistema atua sobre os travões do comboio, até que a velocidade seja a apropriada ao troço que está a percorrer [6], [7].

Relacionando o sistema CONVEL com o trabalho desenvolvido, pode dizer-se que os princípios do sistema estão assentes na mesma ideia. Ainda assim, a área de aplicação é diferente. Torna-se, então, interessante perceber que, apesar desta diferença, a preocupação com a velocidade é um assunto presente e importante no quotidiano dos veículos de transporte, bem como no cumprimento das regras de circulação presentes em ambas as vias.

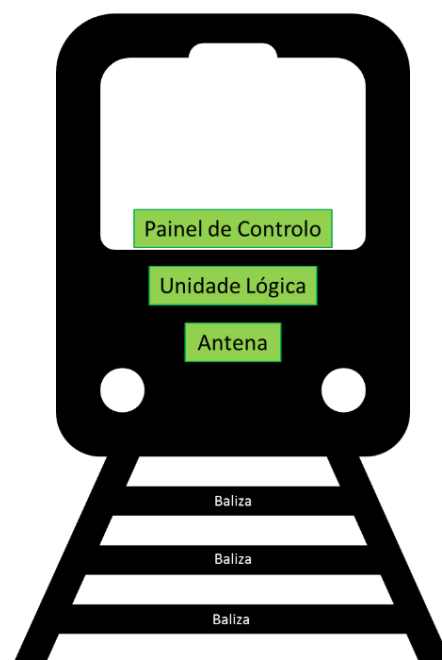


Figura 2.1 – Esquema ilustrativo do funcionamento do sistema Convel (Adaptado de [8]).

2.3 EAR-IT

EAR-IT [6] foi um projeto europeu, desenvolvido por vários parceiros, com o objetivo de monitorizar o trânsito urbano, testado para validação na cidade de Santander, em Espanha. Para concretizar os objetivos previstos, foram instalados sensores acústicos e de pressão que processam os sinais sonoros captados em ambientes exteriores ou interiores, e tome-se como exemplo, o barulho das sirenes, em tempo real. De modo a garantir uma maior eficiência energética deste sistema, foram instalados dispositivos em postes da eletricidade para que as baterias destes possam ser carregadas durante o período da noite (período esse em que os postes estão ligados).

Um exemplo da aplicação desta tecnologia foi a inserção destes dispositivos num cruzamento perto do hospital da cidade. Este local foi escolhido devido à afluência de veículos de emergência que congestionam o trânsito. O resultado desta implementação permitiu detetar o barulho de sirenes, identificando o sentido em que o veículo de emergência se deslocava, e neste sentido, permitiu a mudança dos semáforos de modo a facilitar a passagem destes veículos e a otimização do trânsito [9]–[11].

2.4 CVIS

O CVIS (*Cooperative Vehicle Infrastructure Systems*) [12]–[14] é um sistema desenvolvido com os objetivos de (1) criar uma rede wireless entre os veículos e a infraestrutura, (2) criar uma plataforma aberta para comunicações V2V (*Vehicle to Vehicle*, na sigla inglesa), e V2I (Veículo para Infraestrutura) de modo a que estes colaborem e (3) aumentar a eficiência e a segurança rodoviária através da colaboração veiculo-infraestrutura. Neste sistema, qualquer entidade que seja parte constituinte pode comunicar com outro dispositivo, ou seja, não há uma hierarquia pré-estabelecida de comunicação. O *standard* para efetuar as comunicações utilizado neste sistema é ISO (*International Organization for Standardization*) CALM (*Communications Air-interface, Long and Medium Range*) [12]. A arquitetura deste sistema permite que haja comunicações V2V e V2I, dado que há um acesso contínuo à Internet, incluindo as seguintes tecnologias e padrões: CALM 2G/3G, Infravermelho (IR, na sigla inglesa), Micro-ondas (CALM M5, baseado no protocolo IEEE 802.11p), IEEE 802.11 A/b/g (Wi-Fi), IEEE 802.11p (Wi-Fi móvel), ondas milimétricas (CALM MM) e micro-ondas CEN DSRC [12]. O protocolo vigente é o IPv6 dado que suporta endereços com 128 bits, contrariamente ao IPv4, que só suportava endereços com 32 bits, o que permite que cada veículo tenha o seu próprio IP. Esta tecnologia foi testada nas estradas de seis países europeus: França, Alemanha, Itália, Bélgica, Suécia e Reino Unido. Este sistema teve bastante sucesso quando entrou em funcionamento e foi ainda possível utilizar o mapa local dinâmico, *Local Dynamic Map* (LDM), desenvolvido no projeto SAFESPOT e que será abordado mais à frente.

Através de estudos realizados no entorno deste projeto, obteve-se aceitação por parte do público-alvo que considerou este sistema bastante útil. Estas tecnologias sem fios poderão ser adequadas para suportar os objetivos deste trabalho.

2.5 COOPERS

O projeto COOPERS (*Cooperative Systems for Intelligent Road Safety*) [15], financiado pela Comissão Europeia, teve como objetivo desenvolver uma comunicação bidirecional entre a infraestrutura rodoviária e os veículos através de serviços, equipamentos e aplicações (**Figura 2.2**).

Foram definidas três etapas essenciais para a implementação deste projeto: (1) o melhoramento da infraestrutura de sensores e aplicações para controlo do trânsito e fornecimento de informações ao utilizador; (2) o desenvolvimento de comunicações estáveis e em tempo real entre os veículos e a infraestrutura com a robustez e fiabilidade necessárias e, por último, (3) a demonstração dos resultados em algumas estradas europeias.

Em continuação, diversos meios de comunicação foram testados de modo a atingir estes objetivos do projeto, e destacamos o caso do *Digital Audio Broadcasting* (DAB), *General Packet Radio Service* (GPRS) e *Dedicated Short-Range Communications* (DSRC). Através da comunicação I2V foi possível fornecer, em tempo real, informações locais e relacionadas com o trânsito aos condutores dos veículos. A infraestrutura de comunicação I2V também pode ser aproveitada para transferir informações no sentido V2I, fazendo com que os carros funcionem como sensores espalhados ao longo das vias. Utilizando a comunicação V2V foi também possível fornecer informações que anteriormente só poderiam ser comunicadas através de comunicações do tipo I2V. [12], [15], [16].

O estudo realizado sobre COOPERS [16], que teve em conta os resultados obtidos experimentalmente no sentido de avaliar os comportamentos dos condutores quando expostos a informações antecipadas dadas por este sistema, permitiu concluir que (1) os condutores passaram a travar antecipadamente antes de cruzamentos e (2) passaram a respeitar mais os limites de velocidade que são impostos. Na ótica do utilizador do sistema, os condutores sentiram-se satisfeitos ao ver os diversos avisos que foram aparecendo na interface do veículo.

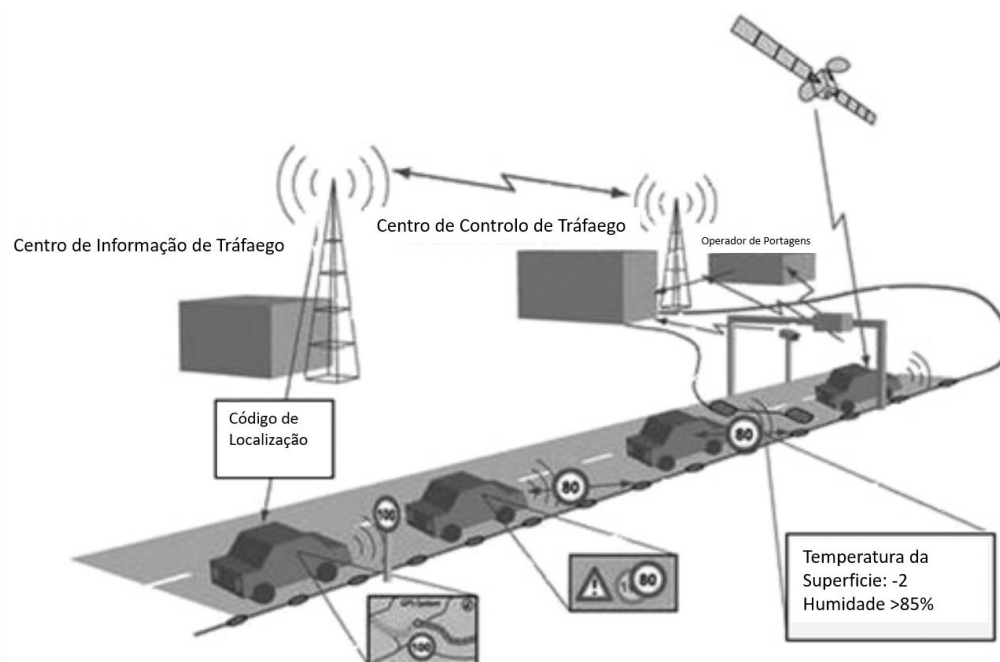


Figura 2.2 – Sistema de comunicação COOPERS (Adaptado de [16])

2.6 SAFESPOT

O SAFESPOT [17] (**Figura 2.3**) consiste num projeto de investigação cofinanciado pela Comissão Europeia, que foi integrado com a arquitetura CVIS e COOPERS. Tem como objetivo principal, a criação de uma rede dinâmica na qual a infraestrutura da estrada e os veículos partilham informação simultaneamente de modo a obterem uma melhor perceção do que se passa à sua volta. Constatou-se, pois, que houve um aumento da margem de segurança do meio envolvente, prevenindo acidentes e detetando, premeditadamente, situações de risco.

Para o desenvolvimento e concretização deste projeto foram usadas comunicações com uma banda de 5.9 GHz, segundo o protocolo Car2Car, que podem ser feitas do modo V2V e V2I, confiáveis e rápidos. Foram ainda utilizadas as tecnologias IEEE 802.11, GSM, UMTS para suporte dos serviços que utilizam a internet bem como o protocolo IPv6. Usando a informação que é adquirida pelos veículos que circulam na via, pôde-se detetar, por exemplo, possíveis colisões laterais. Através das comunicações com a infraestrutura pôde saber-se a velocidade máxima de um certo troço que se está a percorrer ou até mesmo alertar para situações que requeiram a passagem de veículos de emergência. Utilizando as tecnologias presentes no carro, como é o caso da deteção do ângulo morto ou a adaptação da velocidade à distância ao veículo da frente, será possível construir um mapa local dinâmico, o *Local Dynamic Map* (LDM), que estará em constante atualização através de informações que vão sendo adquiridas. No que

concerne às quatro principais áreas nas quais este projeto teve impacto, destacam-se o aviso da distância de segurança e mudança de faixa, o aviso de colisão frontal, o aviso de um acidente numa intersecção próxima ou via obstruída e a sinalização de direção errada para percorrer a via [12], [17], [18].

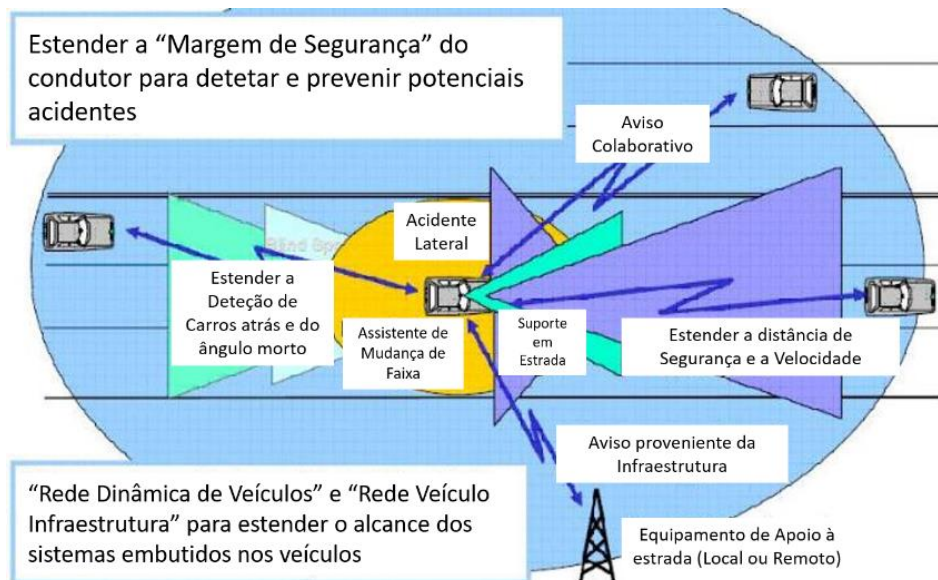


Figura 2.3 - Comunicações SAFESPOT (Adaptado de [12])

2.7 CAPTIV

CAPTIV (*Cooperative Strategies for low power Wireless Transmissions between Infrastructure and Vehicles*) foi um projeto desenvolvido pelo grupo GIS ITS Bretagne com o intuito semelhante aos anteriores: apresentar, antecipadamente, ao condutor, informações de trânsito e os sinais que vão estar presentes ao longo das vias de trânsito que o condutor está a percorrer, aumentando, assim, a segurança nas estradas [19].

Relativamente ao projeto em análise, utilizaram-se sinais de trânsito e outras estruturas presentes nas vias. Foi, ainda criada, adicionalmente, uma rede de sensores sem fios (WSN - *Wireless Sensor Network*), utilizando uma banda de 2.4 GHz com a tecnologia *Zigbee*, para permitir comunicações de veículo para veículo (V2V, na sigla inglesa) e estrada para veículo (R2V, na sigla inglesa) (semelhante à comunicação I2V) e ainda a comunicação estrada para estrada (R2R, *Road to Road*, na sigla inglesa).

As principais características deste sistema são a sua rápida reatividade (100 ms) para permitir apresentar a informação ao condutor e a existência de tempo para analisar essa informação, sendo que a velocidade máxima não deve exceder os 90 km/h e uma cobertura mínima de 100 m,

podendo até utilizar-se sinais de trânsito anteriores aos cruzamentos para a informação ser disponibilizada rapidamente. O consumo de energia deste sistema não é significativo, dado que os emissores são alimentados a energia solar e são autónomos, enquanto que os recetores são alimentados pela bateria do veículo.

Relativamente às vantagens deste tipo de sistema cabe referir o seu carácter dinâmico, o seu baixo consumo de energia e o seu baixo custo de produção e manutenção [19], [20].

2.8 Via Verde

A Via Verde [21] é uma empresa portuguesa que foi pioneira, a nível mundial, na implementação de um sistema eletrónico de cobrança de taxas, que funciona em todo o país (em autoestradas, pontes e até em parques de estacionamento). Como ilustrado na **Figura 2.4**, o sistema é constituído por um identificador RFID (*Radio-Frequency Identification*), denominado por OBE – *On-Board Equipment* a bordo do carro, e um equipamento na infraestrutura onde se pretende efetuar a cobrança, denominado de RSE – *Road Side Equipment*.

Este sistema abarca diversas vantagens e neste mesmo contexto, realçamos a não-necessidade de parar o veículo nas portagens para efetuar o pagamento (facto que também tem influência no trânsito causado pelas paragens para o pagamento) e o transporte do identificador que substitui a necessidade de transportar dinheiro [21]–[24].

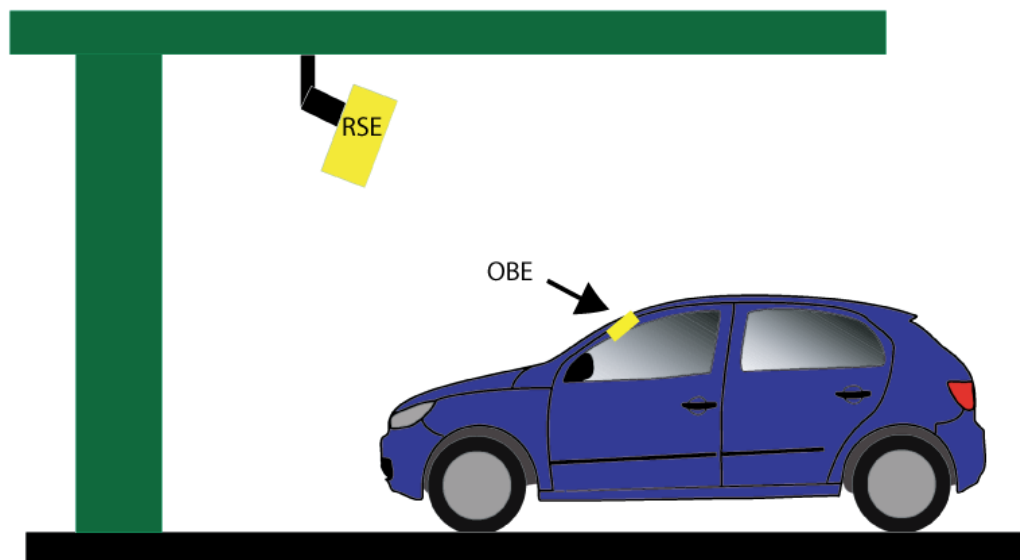


Figura 2.4 - Equipamentos constituintes do sistema Via Verde.

2.9 Sistema de Aviso de Sinais de Trânsito por Wi-Fi

Com o objectivo de receber as informações que os sinais de trânsito atualmente apenas disponibilizam visualmente, foi desenvolvido um sistema constituído por duas unidades de maneira a ser possível alertar o condutor das regras de condução impostas pelos sinais de trânsito na via onde o veículo se desloca [25]. O sistema desenvolvido consiste em duas unidades, uma que está presente no sinal de trânsito denominada por OBU (*On Board Unit*) e outra presente no sinal de trânsito denominada por RSU (*Road Side Unit*). A comunicação entre ambos os módulos é estabelecida por Wi-Fi, utilizando o protocolo 802.11n. A plataforma que sustenta ambos os protótipos é o *Raspberry Pi Model B* com a adição de um dongle para permitir a utilização de Wi-Fi. Foram obtidos resultados que corroboram o trabalho desenvolvido para velocidades até 100 km/h, apesar de existir um atraso na troca de mensagens à medida que a distância aumenta ao sinal de trânsito. Quando as mensagens são recebidas pela unidade presente no veículo é despoletado um alerta para o condutor puder atuar de acordo com as regras da via de trânsito.

O trabalho desenvolvido neste artigo permitiu perceber até que velocidade seria possível, utilizando o Wi-Fi e o protocolo 802.11, garantir a troca de mensagens entre o sinal de trânsito e um veículo em movimento utilizando a plataforma *Raspberry Pi*.

2.10 Comunicações Wireless para ITS

As aplicações de ITS (*Intelligent Transportation Systems*) são expectáveis ser costumáveis e comunicarem de maneira *standard* [26]. É possível dividir as comunicações em dois modos (1) V2I (*Vehicle to Infrastructure*) e (2) V2V (*Vehicle to Vehicle*). Assume-se que em (1) a comunicação ocorre diretamente entre veículos enquanto em (2) a comunicação requer uma infraestrutura. O modo de comunicação pode ser Unicast, ou seja, num só sentido; Broadcast, ou seja, existem vários destinatários; Geo-cast, ou seja, transmitida para uma só localização em particular.

Diante a panóplia de aplicações que vão surgindo para ITS, destacam-se as categorias: segurança (ex. evitar colisões, tipicamente V2V); notificações de sinais de trânsito, usadas para informar condutores de sinais de trânsito mais à frente, sendo que para isso deverá ser usado um alcance máximo de 500m; gestão de incidentes, que deverá lidar com a transmissão de informação de incidentes inesperados nas diversas vias de trânsito; aplicações de monitorização, usadas para ajudar o condutor a monitorizar veículos e condições nas estradas.

Abaixo, na **Tabela 2.1**, encontra-se sumariadas as informações relativas às tecnologias que são utilizadas tipicamente para cada tipo de aplicação das ITS. No projeto a desenvolver deve ser utilizado o *Wi-Fi* pois pretende-se que o projeto suporte a gestão de incidentes, quer isto dizer, que permita a transmissão de mensagens temporárias através de sinais de trânsito e complementar ainda os eventuais sistemas já existentes e presentes nos veículos. Não é possível utilizar a tecnologia DSRC/WAVE por falta de *hardware* disponível no mercado.

Tabela 2.1 - Comparativo entre Tecnologias Wireless

| | GSM/GPRS | Wi-Fi (a/b/g/n) | Zigbee | Bluetooth | DSRC/WAVE | CALM |
|----------------------------|-----------------|------------------------|---------------|------------------|------------------|-------------|
| Modo de comunicação | V2I/V2V | V2V | V2V | V2R | V2R/V2V | V2R/V2V |
| Largura de Banda | 80-384 kb/s | 54-600 Mb/s | 20-250kb/s | 1-3 Mb/s | ~6Mb/s | ~6 Mb/s |
| Alcance | 10km | 250m | ~100m | ~10m | ~1km | ~1km |
| Banda de Operação | 0.8-1.9 GHz | 2.4-5.2 GHz | 2.4 - 2.5 GHz | 2.4 GHz | 5.8-5.9 GHz | 5-6 GHz |

2.11 Síntese comparativa dos projetos relacionados

Através da análise de cada um dos projetos desenvolvidos, foi possível compreender quais as tecnologias que ganharam destaque nos ITS e também perceber, à partida, quais seriam as limitações do uso de algumas delas.

A principal tecnologia e a que mais destaque ganhou foi, indubitavelmente, a *Wi-Fi*, uma vez que foi utilizada nos três principais projetos europeus (CVIS, COOPERS e SAFESPOT). Esta tecnologia por vezes surge associada ao protocolo 802.11p, mas não se encontram disponíveis descrições de qual o *hardware* que serviu de suporte para a implementação deste protocolo.

Outras tecnologias como o RFID, deteção acústica, *Bluetooth* e *Zigbee* foram utilizadas nos projetos desenvolvidos. A utilização de RFID foi, à partida, descartada pois não permite a transmissão de dados como resposta ao utilizador. O *Zigbee*, uma vez que apresenta limitações a altas velocidades, não corresponde às expectativas definidas nos objetivos desta dissertação e como tal não foi utilizado. O *Bluetooth* pelo seu fraco alcance foi também descartado.

3 Contribuição

Neste capítulo são apresentadas as contribuições desenvolvidas, tendo em conta os objetivos gizados na introdução. Foi desenvolvido um sistema constituído por dois módulos que comunicam entre si. Um desses módulos servirá para incorporar no veículo que está em andamento na via pública e o outro módulo será instalado no sinal de trânsito.

3.1 Tecnologia de comunicação utilizada – Wi-Fi

A escolha da tecnologia de comunicação adotada foi o *Wi-Fi*, para suportar a interação entre veículos e sinais de trânsito e resultou da análise dos diversos projectos que foram apresentados no **Capítulo 2**. Para ilustrar o anteriormente dito, a utilização da tecnologia Zigbee não foi considerada, tendo em conta as limitações ao nível da velocidade máxima, referidas no projeto CAPTIV. O alcance foi também um dos fatores considerados e foi o segundo fator de exclusão desta tecnologia, dado que o *Wi-Fi* apresenta um maior alcance que o Zigbee.

Nos principais projetos europeus, o *standard de comunicação* usado é o 802.11p. Por outro lado, devido à falta de *hardware* disponível que o permita implementar, optou-se por utilizar neste trabalho um *standard* com características similares mas com hardware disponível. Tendo isto em conta, optou-se pelo uso do 802.11g, para que, na eventualidade de ser necessária alguma alteração, essa não tenha um grande impacto no funcionamento do sistema.

3.2 Modos de interação entre veículos e sinais de trânsito

Definiu-se que cada sinal de trânsito seria um ponto de acesso, ou seja, gera uma rede Wi-Fi à qual os veículos se conectam (clientes). A solução proposta define que os veículos tomam a iniciativa de comunicar, por outras palavras, o ciclo de interação tem início no veículo. Como nem sempre é possível a troca de mensagens entre o veículo e o sinal, foram definidos dois modos de interação, um simples e um completo.

3.2.1 Introdução

Através do fluxograma da **Figura 3.1**, explica-se como é definido o ciclo que permite a interação entre o veículo e o meio envolvente. Assim, após o início do ciclo, que ocorre com a ligação do sistema a uma fonte de alimentação, é ativado um mecanismo que permite aos veículos descobrir os sinais de trânsito à sua volta, através de uma pesquisa das redes Wi-Fi. Caso esta pesquisa apresente redes veiculares nos seus resultados, o veículo irá conectar-se à rede mais próxima e irá obter as informações do sinal de trânsito. Caso não existam resultados positivos para redes veiculares, é feita uma nova procura de redes Wi-Fi até que surjam resultados positivos.

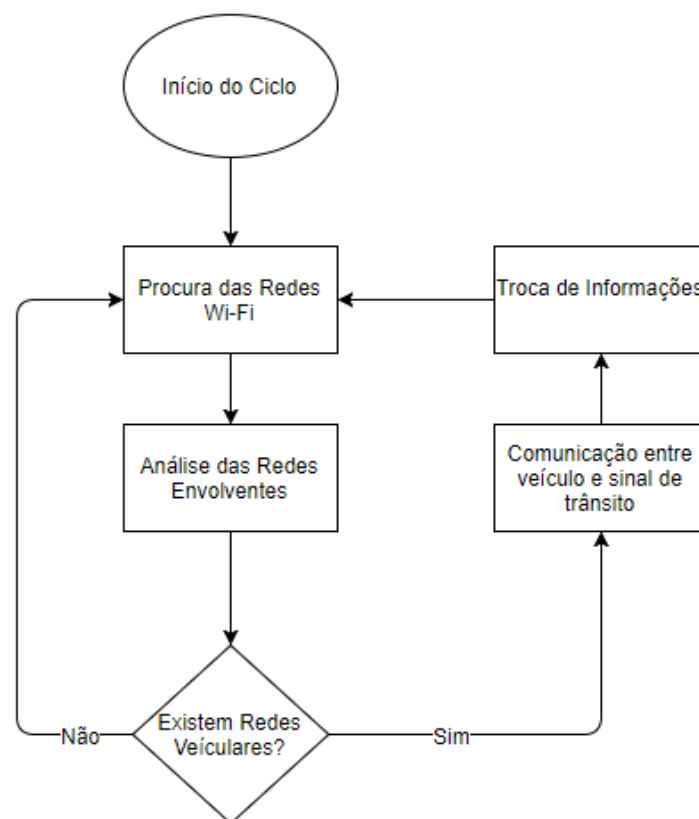


Figura 3.1 - Fluxograma do ciclo de Funcionamento do módulo do veículo

3.2.2 Modo de interação simples

Caso não seja possível ocorrer a interação completa (explicada na subsecção seguinte), o veículo recebe a informação das redes (dos sinais de trânsito) envolventes quando realiza o método “WiFiScan()”. Isto é possível se os sinais de trânsito fornecerem, como é proposto nesta dissertação, no seu SSID (*Service Set IDentification* – nome de rede) informações como o tipo de sinal que é, qual a sua localização e em que sentido está afeto. Esta informação será explicada mais à frente com mais detalhe.

Através da **Figura 3.2**, pode observar-se o ciclo de funcionamento do protótipo a instalar no veículo quando ocorrer apenas análise das redes envolventes.

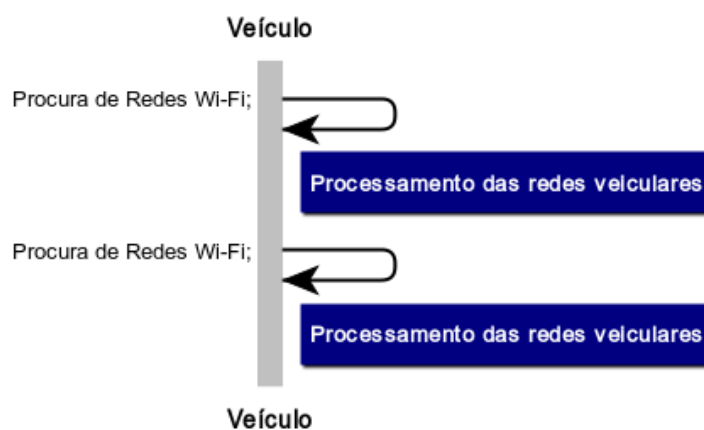


Figura 3.2 – Diagrama de Sequência incluindo apenas o processamento dos nomes das redes veiculares – Modo de interação simples

No caso em que o modo de comunicação utilizado é o da análise dos nomes das redes envolventes, ocorre o processamento por parte do veículo, visto ser uma rede veicular, mas a base de dados disponível no sinal de trânsito, como informação acerca dos veículos, não é atualizada.

3.2.3 Modo de interação completa

O modo de interação completa segue um ciclo que se encontra descrito através do diagrama de sequência da **Figura 3.3**. O ciclo tem início por parte do veículo, simbolizado na figura como “Veículo”, com a obtenção da informação da geo-localização através do módulo de GPS, simbolizado na figura como “GPS”. Neste sentido, é construída uma mensagem que é tratada e enviada ao sinal de trânsito. Depois de construída essa mensagem, inicia-se o processo de escolha da rede Wi-Fi através de uma pesquisa das redes envolventes disponíveis. Depois de escolhida a rede Wi-Fi entre as disponíveis, é efetuada uma ligação, seguida de troca de mensagens através

do método POST. Quando ocorre este pedido, é atualizada a informação na base de dados, que se encontra disponível no sinal de trânsito, simbolizado na figura como “Sinal de Trânsito”. Esta atualização acontece sempre que um veículo se liga ao sinal de trânsito, no modo de comunicação completa. A informação do sinal de trânsito é enviada ao veículo através da resposta ao pedido de informação. Após ocorrer todo este processo de troca de informação, o Wi-Fi é desconectado e volta-se ao início do ciclo onde é obtida a informação do GPS.

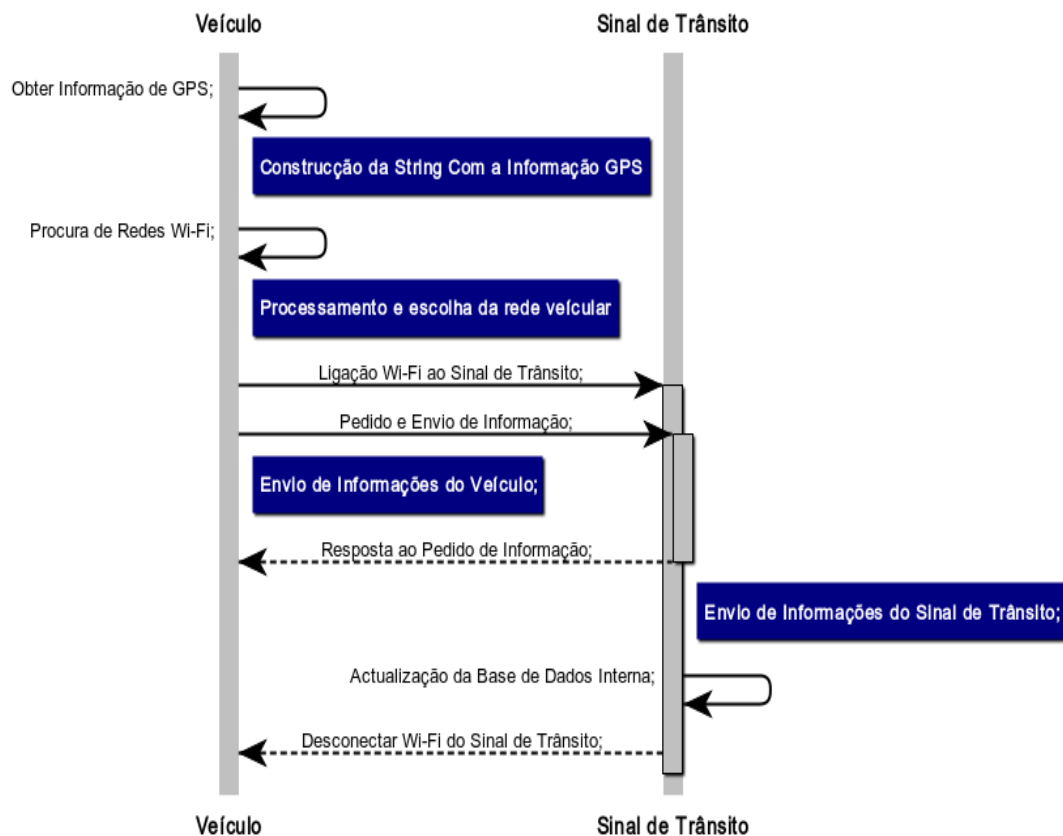


Figura 3.3 – Diagrama de Sequência da Interação Completa entre o Veículo e o Sinal de Trânsito.

3.3 Funcionamento dos módulos

O módulo a instalar no veículo segue um ciclo de funcionamento que se encontra descrito no diagrama de sequência representado na **Figura 3.4**. Este tem início na obtenção das coordenadas de GPS e, após a obtenção destas, é necessário a verificação das redes sem fios existentes no meio envolvente, para que posteriormente possa ocorrer a ligação e a troca de mensagens.

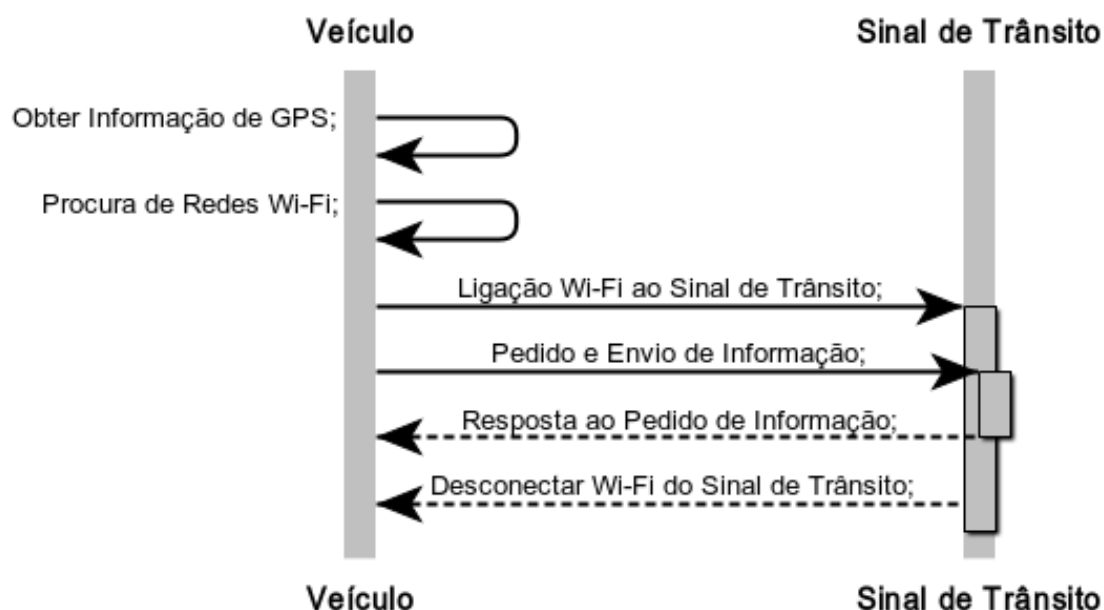


Figura 3.4 – Diagrama de sequência da interação entre um veículo e um sinal de trânsito

O sinal de trânsito deve permitir ao módulo a instalar no veículo conectar-se via Wi-Fi e deve ainda ser capaz de dar resposta aos pedidos de informação. Após receber a informação proveniente do veículo, o módulo a instalar no sinal de trânsito deve enviar como resposta a sua informação, sendo que depois é encerrada a conexão Wi-Fi.

3.4 Procura e seleção de rede

Para que exista uma troca de mensagens entre as duas entidades constituintes do protótipo, é necessário antes haver uma procura das redes Wi-Fi disponíveis nas imediações. Esta procura é suportada por um mecanismo que atua depois da obtenção das informações de geo-localização. Quando são encontradas todas as redes disponíveis e devolvida a sua lista, é escolhida a mais forte através do RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) que é um valor numérico da força do sinal. Esta escolha é feita através da força do sinal tendo em consideração que a rede disponibilizada pelo sinal de trânsito será sempre a mais forte dada a sua proximidade ao veículo. Para um controlo e seletividade das redes, só são escolhidas redes que comecem por “RS” de modo a garantir que só estamos à procura de redes geradas por sinais de trânsito. Caso não sejam encontradas redes do tipo de sinal de trânsito, o sistema efetua uma nova procura de redes até que sejam encontradas redes convenientes à comunicação.

3.5 Nomes das redes Wi-Fi

Hoje em dia, o número de redes Wi-Fi é bastante elevado e como tal, torna-se necessário distinguir as redes dos sinais de trânsito das restantes, para haver uma correta ligação. Para este efeito, todas as redes de sinais de trânsito são inicializadas com “RS”. Ao distinguirmos as redes geradas pelos sinais de trânsito, podemos fazer uso das informações que são transmitidas nos seus SSID’s.

Seguidamente, apresentaremos algumas informações que foram consideradas pertinentes de serem transmitidas no SSID:

- Identificador inicial de rede Wi-Fi de sinal de trânsito: “RS”;
- Coordenadas da geo-localização do sinal de trânsito com 4 casas decimais;
- Sentido em que está afeto o sinal;
- Tipo de sinal de trânsito.

3.6 Mensagens

Para o veículo obter as informações do sinal de trânsito e para que o sinal de trânsito possa também receber informações por parte do veículo, foi necessário definir dois tipos de mensagens – uma que é enviada pelo veículo ao sinal de trânsito e outra que é enviada pelo sinal de trânsito ao veículo.

3.6.1 Mensagem enviada pelo veículo

Como o veículo se encontra em movimento na estrada, será relevante que a informação que este transmite ao sinal de trânsito, inclua a sua posição de GPS aquando da transmissão da mensagem; também será relevante o envio da sua velocidade e identificação.

Vistos os parâmetros, foram definidos os atributos correspondentes. Encontra-se na **Figura 3.5** um diagrama explicativo da correspondência entre parâmetros das mensagens e respetivos atributos que são depois definidos.

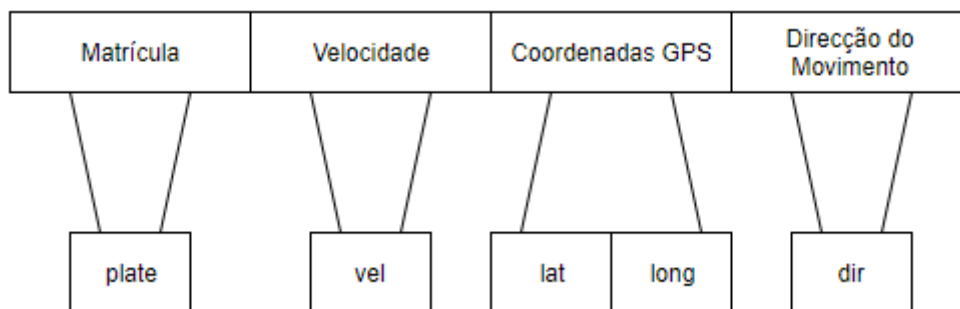


Figura 3.5 - Diagrama explicativo da correspondência entre parâmetros e atributos da mensagem a ser enviada pelo veículo ao sinal de trânsito

3.6.2 Mensagem enviada pelo sinal de trânsito

A mensagem do sinal de trânsito será enviada ao veículo como resposta à mensagem que foi recebida pelo sinal de trânsito. Os sinais de trânsito enviam as suas coordenadas de GPS para serem interpretadas pelo veículo. Envia, ainda, o seu tipo (por exemplo proibição ou cedência de passagem) e apresentam um campo adicional de mensagens temporárias. Na **Figura 3.6** encontra-se um diagrama explicativo da correspondência entre os parâmetros para constituir a mensagem que será enviada pelo sinal de trânsito e os atributos a definir na linguagem de programação.

O campo adicional de mensagens foi criado com o intuito de transmitir antecipadamente, aos utentes da via, informações de eventos que possam ter ocorrido nas imediações. Por eventos, entenda-se obras na via, alterações de velocidade por condições meteorológicas, entre outros.

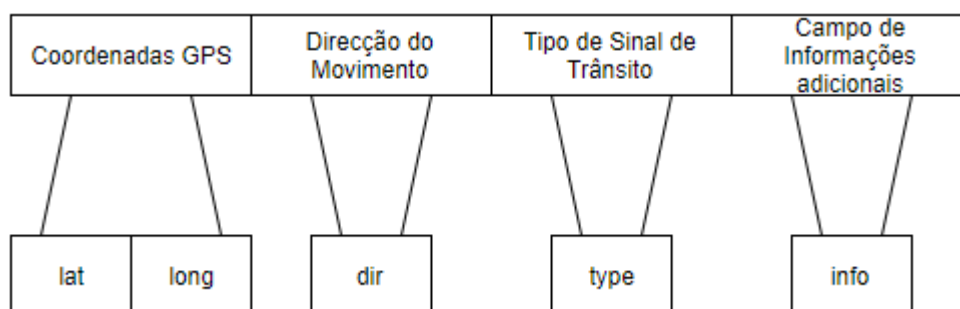


Figura 3.6 - Diagrama explicativo da correspondência entre parâmetros e atributos da mensagem a ser enviada pelo sinal de trânsito ao veículo

3.7 Protótipo

Para usar como base o *Wi-Fi* e sustentar o tipo de interação e troca de mensagens definido, foi usado o protocolo HTTP. O método escolhido para realizar a troca de mensagens foi POST.

Após a escolha da tecnologia, a definição da interação entre ambas as partes do sistema, a definição das mensagens a serem trocadas, ciclos de funcionamento de cada um dos módulos e ainda o protocolo que vai ser usado para comunicação, torna-se necessário selecionar o *hardware* indicado para suportar todos estes requisitos.

Nesta secção é apresentado o protótipo desenvolvido, bem como os métodos utilizados no seu desenvolvimento. O protótipo é constituído por dois módulos, sendo um colocado no veículo, onde se irá enviar e obter as informações do sinal de trânsito e o outro será colocado no sinal de trânsito de modo a responder aos pedidos de informação do veículo. Visto que é possível dividir o protótipo em dois módulos, a constituição de cada uma irá ser explicada individualmente. O protótipo pode ainda funcionar em dois modos: o modo de interação completo ou simples.

3.7.1 Materiais

Dado que o protótipo final é constituído por duas partes, em seguida, apresenta-se a lista dos materiais utilizados em cada um.

Material utilizado no protótipo a instalar no veículo:

- Módulo ESP8266-01;
- Duas resistências de 10k Ω (Ohms);
- Dois interruptores de pressão;
- Módulo USB-TTL;
- *Breadboard*;
- GPS MT3329.

Material utilizado no protótipo a instalar no sinal de trânsito:

- *Raspberry Pi 2*;
- *Pen Wi-Fi*;
- Fonte de energia com saída USB mini.

3.7.2 Protótipo a instalar no veículo

A **Figura 3.7** representa o circuito do protótipo a instalar no veículo para o correto funcionamento dos diferentes módulos interligados (ESP-01, GPS e módulo USB-TTL). Para uma futura integração num veículo, torna-se dispensável o módulo USB-TTL, no entanto, numa fase de testes, em que é necessária a observação constante de resultados e modificação do código do módulo foi bastante útil, visto que este módulo permite a ligação ao computador para ser possível observar os resultados na consola série. Durante a fase de testes, serviu ainda como alimentação para o ESP através da porta USB do computador.

Os dois botões presentes no circuito, “RST” e “FLSH”, podem ser operados em conjunto, ordenadamente, para programação do módulo ESP. Pode, também, ser utilizado a qualquer momento, o botão “RST” para reiniciar o módulo ESP.

Neste sentido, a alimentações do ESP e do módulo GPS têm tensões diferentes, e consequentemente, decidiu-se usar duas fontes de tensão em separado para garantir que a corrente fosse suficiente nos dois módulos.

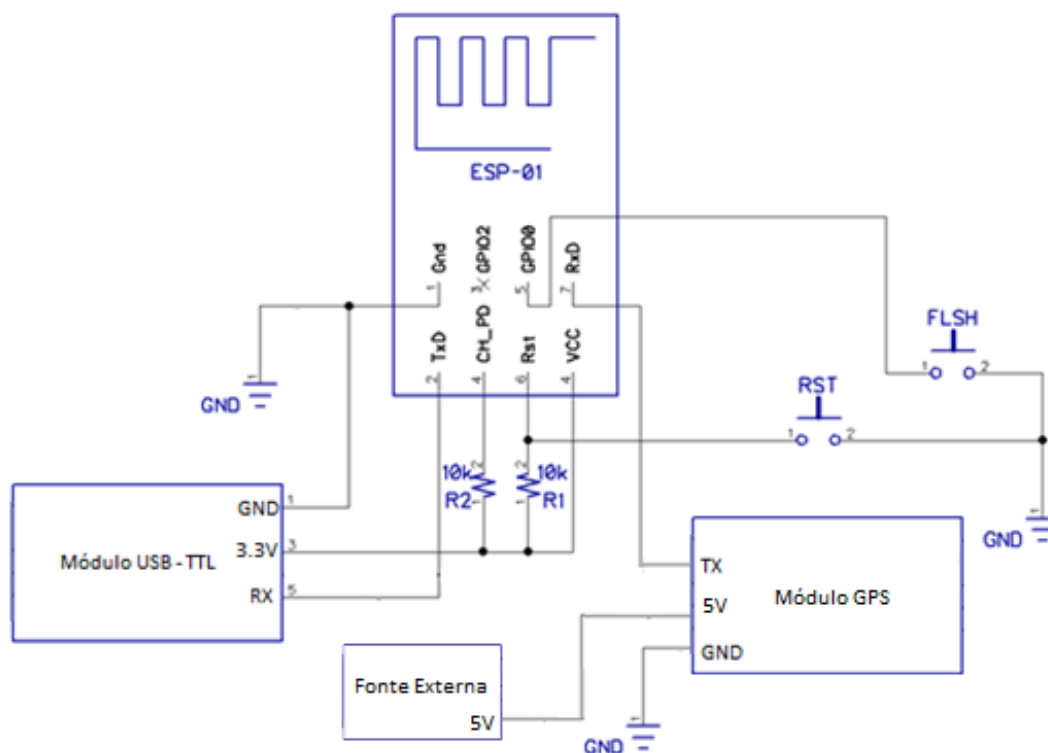


Figura 3.7 – Circuito do protótipo a utilizar no veículo (Adaptado de: [27])

3.7.2.1 Módulo ESP 8266-01

A plataforma microcontrolada ESP 8266-01, que pode ser vista na **Figura 3.8**, disponibiliza *Wi-Fi*, que é uma característica necessária para a comunicação com o sinal de trânsito. Dado ter disponível portas séries, é possível a integração com o GPS através de ligações cruzadas entre os pinos RX e TX disponíveis em ambos os módulos. Foi escolhido o módulo ESP 8266-01, não só pela sua compatibilidade com o Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), como também pelo baixo custo e baixo consumo energético.

Principais características do ESP 8266-01 [28]:

- 802.11 b/g/n;
- 1 MB (Megabyte) de memória;
- Processador integrado de 32-bit de baixa potência.

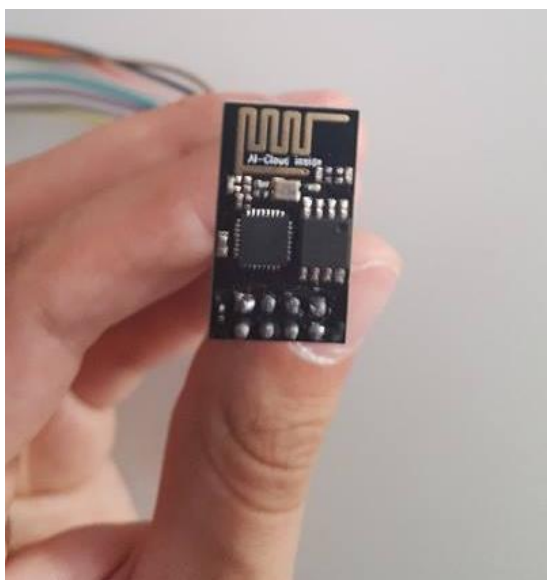


Figura 3.8 - Módulo ESP8266-01

3.7.2.2 GPS MT3329

Pretende-se utilizar o módulo GPS (**Figura 3.9**) para fornecer ao sinal de trânsito a localização do veículo quando ocorrer a troca de informação. Para este efeito, o GPS deve ser ligado ao módulo ESP através da comunicação série através dos pinos RX e TX. Apenas o pino TX do GPS vai ser utilizado para obter a informação, por parte do ESP, quando ligado ao pino RX do ESP. Efetivamente, não é necessário o envio de informação ao GPS para obter a geo-localização visto que este foi programado antecipadamente para estar sempre a enviar informações através do seu pino TX, e a condição para o correto funcionamento é que o *baudrate* seja de 38400 bps (*bits* por segundo).



Figura 3.9 - GPS MT3329

3.7.3 Protótipo a instalar no sinal de trânsito

A **Figura 3.10** demonstra a ligação feita entre o *Raspberry Pi 2* e o módulo Wi-Fi. Para os testes realizados no exterior de laboratórios, o *Raspberry* foi alimentado por um *powerbank*. Por sua vez, para os testes no interior, foi alimentado através de um carregador *standart* mini-USB.

Inicialmente, estava pensado o que o módulo a instalar no sinal de trânsito poderia também ser um ESP sem incluir o módulo GPS, não obstante, e como discutido na **secção 4.1.1**, foi necessário encontrar uma plataforma alternativa.

O *Raspberry*, ao ser parte constituinte dos sinais de trânsito pode gerar um *hotspot Wi-Fi* ao qual os veículos se irão ligar para que possa ocorrer a troca de informação. Vai ser ainda possível através do *Raspberry*, ter acesso a uma lista de veículos que efetuaram a comunicação e ainda as informações que transmitiram.



Figura 3.10 - Protótipo a instalar no Sinal de Trânsito

3.7.3.1 Raspberry Pi 2

O *Raspberry Pi 2* (**Figura 3.11**) possui um sistema operativo pré-instalado, o PIXEL *Raspbian*. Através deste sistema operativo, podemos facilmente programar esta plataforma de maneira a dar respostas a pedidos de informação dos veículos e ainda armazenar informações que sejam consideradas importantes. Através da ligação adicional, que é feita ao módulo *Wi-Fi*, podemos efetuar a comunicação sem fios entre as duas partes do protótipo desenvolvido.

As principais características do *Raspberry Pi 2* são [29]:

- Processador a 900MHz quad-core;
- 4 portas USB;
- 1GB RAM
- Capacidade para cartões Micro SD.



Figura 3.11 - Raspberry Pi 2

3.7.3.2 Pen Wi-Fi

Para gerar um ponto de acesso Wi-Fi, que depois vai ser utilizado para dar resposta às comunicações originadas pelo carro, foi necessário utilizar uma *pen* Wi-Fi, SMCWUSBS-N3 (**Figura 3.12**), que é ligada a uma das portas USB do *Raspberry Pi 2*. A utilização desta *pen* seria dispensável se o modelo possuísse Wi-Fi integrado.

Características da *Pen* Wi-Fi SMCWUSBS-N3 [30]:

- Compatibilidade com Wi-Fi 802.11b/g;
- Baseado na tecnologia IEEE 802.11n;
- Suporte de encriptação WPA e WPA2.



Figura 3.12 - Pen Wi-Fi utilizada para conectar ao Raspberry

3.7.3.3 Raspberry Pi 3

O *Raspberry Pi 3* possui, tal como o *Raspberry Pi 2*, um sistema operativo pré-instalado, o PIXEL Raspbian. Esta plataforma, face à anterior, tem a principal vantagem de ter o *Wi-Fi* integrado, o que faz com que não necessitemos de *dongles* para gerar a rede sem fios.

As principais características do *Raspberry Pi 3* são [31]:

- Processador *Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837* de 64bit
- 1GB RAM
- 4 portas USB;
- 1GB RAM
- Capacidade para cartões Micro SD.

3.7.4 Funcionamento do protótipo a instalar no veículo

3.7.4.1 Obtenção da Informação da geo-localização

A informação da geo-localização é obtida através da porta série disponível no ESP, quando ligada ao módulo de GPS. Para que esta comunicação ocorra é necessário ter um *baudrate* de 38400 bps (bites-por-segundo). Quando se seleciona a função “BuildCarInfo()”, é construída, através do método “UpdateGPSData()”, uma mensagem que contém a informação do GPS que será depois enviada ao sinal de trânsito. Caso os valores da geo-localização não sejam válidos, é construída na mesma uma mensagem, mas com valores que não representam coordenadas de GPS válidas.

3.7.5 Funcionamento do protótipo a instalar no sinal de trânsito

3.7.5.1 Obtenção e envio de informações

A obtenção de informações provenientes do veículo é feita por um servidor, que recebe e armazena as mensagens trocadas e que se encontra instalado em cada sinal de trânsito no *Raspberry Pi 2*. O endereço IP onde o servidor do sinal de trânsito se encontra alojado é conhecido por omissão pelo carro (192.168.42.1), assim como a porta à qual irá ser feita a ligação. Foi possível esta opção visto que cada sinal gera a sua própria rede e não estão interligados. Quando o veículo faz um pedido de informação através do método POST, as informações ficam guardadas numa base de dados num ficheiro *.txt*. Estas informações, no futuro, poderão ser utilizadas para saber os níveis de trânsito numa dada região, mediante a análise da velocidade instantânea de cada veículo.

3.7.6 Mensagens Trocadas

Para efetuar a comunicação entre ambas as partes do protótipo, o que vai ser instalado no veículo e o que irá fazer parte do sinal de trânsito, esquematizado na **Figura 3.13**, foi necessário definir quais os conteúdos das mensagens a serem trocados, quer no sentido veículo-sinal de trânsito, quer no sentido contrário.

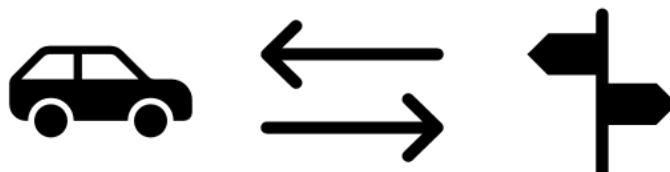


Figura 3.13 - Esquema representativo dos sentidos da comunicação

Segundo Santa, J. et al, 2013 [32], continua a não existir um *standard* de mensagens definido na Europa. Por essa razão, optou-se por JSON (*JavaScript Object Notation*) face à sua simplicidade em relação ao XML (*eXtensible Markup Language*). Tomou-se esta opção também pelo facto de existir uma biblioteca para o módulo ESP que permite a leitura de mensagens deste tipo e porque as mensagens são mais pequenas do que em XML.

A mensagem enviada pelo veículo ao sinal de trânsito (ver **Figura 3.14**) deverá conter informações de identificação do veículo, como a matrícula (“plate”), a velocidade (“vel”), a geo-

localização – coordenadas de GPS (“lat” para latitude e “long” para longitude) – e o sentido em que se desloca (“dir”; norte para sul, p.e., “ns”).

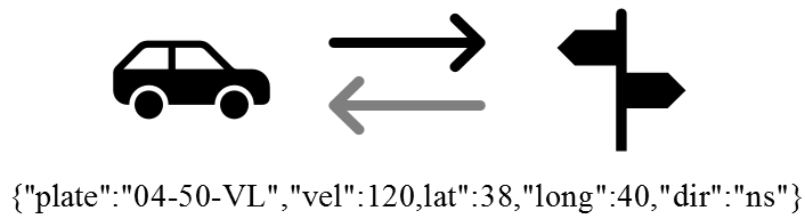


Figura 3.14 - Esquema representativo da mensagem enviada pelo carro ao sinal de trânsito.

Já o sinal de trânsito (ver **Figura 3.15.**) deverá enviar a sua geo-localização através das suas coordenadas de GPS (“lat” e “long”), o sentido em que está afeto (“dir”), qual o grupo de sinais de trânsito em que está inserido (“type”) e qual a informação que pretende transmitir aos condutores (“info”).

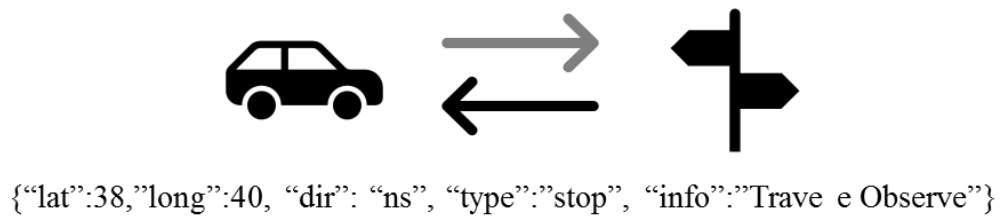


Figura 3.15 - Esquema representativo da mensagem enviada pelo sinal de trânsito ao carro.

4 Testes Realizados e Análise de Resultados

Neste capítulo vão ser apresentados e discutidos os resultados obtidos durante os testes realizados para a validação do conceito desta dissertação. De modo a obter testes conclusivos optou-se por seleccionar dois ambientes, um de laboratório, onde se realizaram os testes iniciais e onde foram definidos valores de referência. O segundo local de testes foi um ambiente onde os veículos circulavam com maior velocidade, ou seja, onde as condições eram as reais das vias onde se pretende testar o sistema desenvolvido.

Neste mesmo sentido, foram testadas diferentes plataformas a fim de perceber qual garantia uma troca de informação mais rápida. As plataformas testadas foram o *Raspberry* e o ESP. O intervalo de tempo para a troca de informação é uma das características mais importantes que permite classificar o sistema e, por isso, foi extensivamente estudada. Tendo em conta a necessidade de rapidez do sistema, foi também testado o impacto que a proteção da rede, com uma palavra passe, teria no tempo total de comunicação.

Primeiro, foram feitos testes para compreender qual o tempo de ligação do Wi-Fi entre ESP-ESP, entre ESP-*Raspberry* 2 e entre ESP-*Raspberry* 3. Após a análise destes resultados, foram feitos testes de campo usando o protótipo instalado dentro do veículo. Esta segunda fase de testes incluí apenas as ligações aprovadas após a análise preliminar.

4.1 Tempo de ligação do Wi-Fi do Carro-Sinal de Trânsito

4.1.1 ESP-ESP com rede conhecida

Este teste, realizado em ambiente de laboratório, permitiu perceber qual seria o tempo médio da ligação Wi-Fi do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito. Dependendo dos valores obtidos, seria abordada, ou não, outra alternativa em relação ao uso do ESP no sinal de trânsito.

Neste teste não foi efetuada uma procura de rede. Quer isto dizer que a rede já era conhecida pelo módulo a instalar no veículo, bem como o IP do servidor e a respetiva porta à qual iria ser feita a ligação. Este teste inicial terá, portanto, um tempo de ligação inicialmente menor do que se fosse aplicado a uma situação real.

Na **Tabela 4.1** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) obtidos nos testes realizados. O tempo médio da ligação foi de 4.42 segundos para 5 medições.

Tabela 4.1 - Tempos de Ligação ESP-ESP. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos

| Medição | Tempo de Ligação (segundos) |
|---------|-----------------------------|
| 1 | 4.040 |
| 2 | 4.007 |
| 3 | 5.946 |
| 4 | 4.005 |
| 5 | 4.041 |

4.1.2 Teste ESP-Raspberry 2 com Rede Conhecida

A plataforma alternativa escolhida para ser instalada no sinal de trânsito foi o *Raspberry Pi 2*. Juntamente com esta nova plataforma, foi adicionada uma *pen* Wi-Fi que irá gerar um ponto de acesso. Para testar a eficiência desta plataforma e de modo a ser possível comparar resultados, as condições usadas neste teste foram as mesmas que usadas no teste anterior.

Na **Tabela 4.2** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) obtidos nos testes realizados. O tempo médio da ligação foi de 3.68 segundos para 5 medições.

Tabela 4.2 – Tempos de Ligação ESP-Raspberry 2. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos.

| Medição | Tempo de Ligação (segundos) |
|---------|-----------------------------|
| 1 | 3.151 |
| 2 | 3.151 |
| 3 | 5.808 |
| 4 | 3.13 |
| 5 | 3.172 |

Comparando a **Tabela 4.1** com a **Tabela 4.2**, pode perceber-se que ocorre um decréscimo, de aproximadamente um segundo, no tempo de ligação entre as plataformas ESP-Raspberry 2. Dado que esta apresenta um menor intervalo de tempo de ligação, foi escolhida para dar continuidade ao projeto e ser, eventualmente, testada num ambiente real.

4.1.3 Teste ESP-Raspberry 2 com Procura de Rede

Nos testes realizados até este ponto, foram sempre usadas ligações conhecidas. Em termos práticos, isto significa que a ligação será sempre facilitada. Por outra parte, em ambiente real, é necessário que o módulo perca algum tempo para encontrar uma rede do tipo de sinal de trânsito válida para que ocorra uma troca de informação.

Num ambiente exterior vai ser necessário escolher a rede Wi-Fi mais forte (ou seja, o sinal de trânsito mais próximo) para que ocorra a comunicação. Deste modo, foi necessário testar o mecanismo de procura de redes para saber o atraso introduzido ao sistema.

Os endereços de IP do servidor e a porta à qual será feita a ligação são conhecidos pelo módulo a instalar no veículo. Na **Tabela 4.3** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) obtidos nos testes. O tempo médio da ligação foi de 7.57 segundos para 5 medições; a utilização da procura de rede introduz um atraso de, aproximadamente, 3.88 segundos ao sistema.

Tabela 4.3 - Tempos de Ligação ESP-Raspberry com mecanismo de procura de rede. Foram realizadas 5 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos.

| Medição | Tempo de Ligação (segundos) |
|---------|-----------------------------|
| 1 | 7.261 |
| 2 | 7.824 |
| 3 | 7.920 |
| 4 | 7.417 |
| 5 | 7.418 |

Embora este sistema traga um atraso no tempo de ligação do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito, esta é uma aproximação, em laboratório, à situação real.

É de salientar que nestes testes não estão introduzidos fatores externos aos módulos, como a velocidade do carro, os obstáculos que podem diminuir o alcance do Wi-Fi ou a presença de outras redes no ambiente, que podem influenciar drasticamente o tempo de ligação. Por esta razão, na próxima secção vai ser testada uma forma de diminuir o tempo de ligação da **Secção 4.1**.

4.2 Tempos de Totais Com e Sem Proteção na Rede Gerada Pelo Sinal de Trânsito em Diferentes Plataformas

Dos capítulos anteriores, podemos concluir que a plataforma mais rápida para o módulo a instalar no sinal de trânsito é o *Raspberry Pi 2*. O atraso introduzido pelo mecanismo de procura do nome da rede foi também um fator importante para perceber qual o tempo total que a ligação ao sinal de trânsito demoraria a ocorrer.

Neste capítulo, vai ser testada uma plataforma otimizada do módulo anterior para comparação com os resultados obtidos anteriormente.

Para a realização destes testes, introduziu-se o *Raspberry Pi 3* para perceber quão mais rápida podia ser esta plataforma quando comparada com a sua versão anterior, juntamente com o *dongle* Wi-Fi. Além de serem testadas as diferentes versões do *Raspberry*, neste capítulo vai ser comparado o impacto que tem a proteção da rede Wi-Fi no tempo total da ligação.

4.2.1 Tempo de Ligação Total Utilizando Palavra-Passe na Rede Com a Plataforma *Raspberry Pi 2*

Neste primeiro teste, procurou-se perceber qual seria o tempo médio da ligação total do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito em ambiente de laboratório, utilizando o *Raspberry Pi 2* para gerar a rede protegida com palavra-passe.

Na **Tabela 4.4** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) totais obtidos nos testes. O tempo médio da ligação foi de 8.28 segundos para 15 medições.

Este teste serviu para estabelecer o tempo total da ligação com palavra passe. Como discutido anteriormente, a adição de mais fatores externos leva a que a conexão do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito demore mais tempo. Deste modo, os valores

medidos neste teste irão servir como referência. Este cenário, apesar de estático, é o que, teoricamente, se apresenta como o mais demorado entre a comunicação de um módulo ao outro.

Tabela 4.4 - Tempos de Ligação Totais Utilizando o Raspberry Pi 2 com palavra-passe na rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos.

| Medição nº | Tempo (segundos) |
|------------|------------------|
| 1 | 8.474 |
| 2 | 8.943 |
| 3 | 8.043 |
| 4 | 7.939 |
| 5 | 8.01 |
| 6 | 9.883 |
| 7 | 8.015 |
| 8 | 8.923 |
| 9 | 8.086 |
| 10 | 7.868 |
| 11 | 7.991 |
| 12 | 7.983 |
| 13 | 7.97 |
| 14 | 7.981 |
| 15 | 8.089 |

4.2.2 Tempo de Ligação Total Não Utilizando Palavra-Passe na Rede Com a Plataforma *Raspberry Pi 2*

No segundo teste realizado neste capítulo, procurou-se perceber qual seria o tempo médio da ligação total do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito em condições iguais ao teste anterior, mas utilizando o *Raspberry Pi 2* para gerar uma rede sem fios sem palavra-chave.

Na **Tabela 4.5** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) totais obtidos nos testes. O tempo médio da ligação foi de 7.23 segundos para 15 medições.

Tabela 4.5 -Tempos de Ligação Totais a Plataforma Raspberry Pi 2 sem Palavra-Passe na rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos.

| Medição nº | Tempo (segundos) |
|-------------------|-------------------------|
| 1 | 6.904 |
| 2 | 8.037 |
| 3 | 6.983 |
| 4 | 7.029 |
| 5 | 7.396 |
| 6 | 8.986 |
| 7 | 6.999 |
| 8 | 7.118 |
| 9 | 6.957 |
| 10 | 7.046 |
| 11 | 6.934 |
| 12 | 6.978 |
| 13 | 7.036 |
| 14 | 6.974 |
| 15 | 7.045 |

Uma vez que os resultados obtidos neste teste, sem proteção por palavra passe, apresentaram melhores tempos de ligação que os obtidos no teste anterior, optou-se por retirar a proteção da palavras-passe das redes geradas pelos sinais de trânsito. A remoção deste mecanismo permite que o sistema possa decrescer, em média, o tempo total de ligação em, aproximadamente, 1 segundo.

É importante notar que ambos os testes foram realizados em ambiente de laboratório. Depois de testada a plataforma *Raspberry Pi 2* em ambas as situações de proteção da rede, foi possível garantir valores de referência a serem comparados com a utilização de um modelo mais avançado desta plataforma. Assim, na próxima subsecção vão ser testadas as mesmas condições, mas com a plataforma *Raspberry Pi 3*.

4.2.3 Tempo de Ligação Total Não Utilizando Palavra-Passe na Rede com a Plataforma *Raspberry Pi 3*

Com a nova plataforma, procurou-se reproduzir os mesmos resultados que na secção homóloga anterior. Dado que o resultado que mais interessa aplicar num ambiente real foi o da rede não

protegida, foi esse o critério usado para testar o *upgrade* deste módulo. Perceber qual seria o tempo médio da ligação total do módulo a instalar no veículo ao módulo a instalar no sinal de trânsito em ambiente de laboratório, utilizando o *Raspberry Pi 3* para gerar uma rede não protegida, foi o objetivo deste teste.

Na **Tabela 4.6** são apresentados os tempos de ligação (em segundos) totais obtidos nos testes. O tempo médio da ligação foi de 6.89 segundos para 15 medições.

Tabela 4.6 - Tempos de Ligação Totais a Plataforma Raspberry 3 Sem Palavra-Passe na Rede. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de ligação foi medido em segundos.

| Medição nº | Tempo (segundos) |
|------------|------------------|
| 1 | 6.629 |
| 2 | 6.919 |
| 3 | 6.924 |
| 4 | 6.581 |
| 5 | 6.931 |
| 6 | 6.893 |
| 7 | 6.993 |
| 8 | 7.001 |
| 9 | 6.975 |
| 10 | 6.473 |
| 11 | 7.002 |
| 12 | 6.966 |
| 13 | 7.028 |
| 14 | 6.944 |
| 15 | 7.046 |

Comparando os resultados obtidos com a nova plataforma com os resultados obtidos nas mesmas condições com a plataforma anterior, avançamos que com a utilização deste módulo mais avançado é possível reduzir o tempo de resposta em 0.34 segundos.

4.2.4 Comparação entre *Raspberry Pi 2* e *Raspberry Pi 3*

Analisando detalhadamente os resultados, é possível dividir o tempo total de ligação em tempo de obtenção dos dados de geo-localização (GPS), tempo de seleção e procura das redes veiculares (Wi-Fi), tempo de conexão à rede veicular escolhida (conexão) e o tempo de comunicação que representa a troca de informação entre o veículo e o sinal de trânsito (comunicação).

Nos resultados obtidos para estas parcelas (ver **Anexo 4 e 5**) para ambas as situações (comparação de módulos), é possível afirmar que o tempo que sofre mais alterações é o tempo de conexão. Esta diferença pode dever-se à existência, no *Raspberry Pi 3*, de um módulo de Wi-Fi integrado que facilita a conexão à rede escolhida.

4.3 Testes de Funcionamento em Ambiente Real

Este subcapítulo teve como objetivo norteador testar o funcionamento, em ambiente real, dos mesmos protótipos estudados nos capítulos anteriores em ambiente de laboratório. Esses protótipos são constituídos pelo ESP que vai ser instalado no veículo e pelo *Raspberry Pi 2* ou *3* que, por sua vez, vão ser instalados no sinal de trânsito. Foram testadas as ligações com e sem palavra passe para garantir que eram obtidas as mesmas conclusões nos dois ambientes; a ligação que necessita de palavra-passe vai demorar sempre mais tempo do que a ligação a uma rede não protegida.

Os testes em ambiente real servem para que todos os fatores externos aos módulos, como a velocidade do carro e os obstáculos que podem diminuir o alcance do Wi-Fi ou a presença de outras redes no ambiente, possam ser tidos em conta no tempo de ligação. Com efeito, foram sempre testadas três velocidades constantes: 50, 70 e 100 km/h. O limite dos 50km/h foi escolhido para provar se o sistema é viável de ser aplicado nas vias urbanas, dado este ser o limite máximo permitido por lei. Posteriormente, testou-se a velocidade de 70 km/h e de 100 km/h para testar se também seria possível aplicar o sistema desenvolvido em vias rápidas (itinerários complementares e itinerários principais).

4.3.1 Teste de Funcionamento em Ambiente Real Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma *Raspberry Pi 2*

Com este teste inicial em ambiente real procurou-se perceber se era possível a comunicação entre os diferentes módulos do protótipo do sistema quando exposto a diferentes velocidades utilizando palavra-passe na rede. Assim, procurou-se também perceber qual era a taxa de sucesso nas diferentes velocidades. Neste teste, a taxa de sucesso é definida como o número de vezes em que a comunicação entre os dois módulos do protótipo é bem-sucedida, em relação ao número de vezes que a comunicação é testada.

Para realizar este teste, levaram-se a cabo 10 medições a cada uma das quatro velocidades - 50, 70, 80 e 100 km/h. Como explicado anteriormente, estas velocidades foram escolhidas devido aos

limites de velocidade que se encontram em vigor nos circuitos urbanos e nas vias rápidas; a velocidade de 80 km/h foi adicionada a este primeiro teste como uma confirmação, antes da velocidade máxima testada (100 km/h), para garantir que a comunicação entre os dois protótipos era possível, com elevada taxa de sucesso.

Na **Tabela 4.7** são apresentadas as taxas de sucesso para cada uma das velocidades, que foram mantidas constantes ao longo dos testes.

Tabela 4.7 - Taxas de Sucesso em Ambiente Real a Diferentes Velocidades Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma Raspberry Pi 2. Foram realizadas 10 medições em cada uma das velocidades.

| | 50 km/h | 70 km/h | 80km/h | 100km/h |
|------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Taxa de Sucesso | 100% | 100% | 100% | 80% |

De acordo com os dados da tabela, é possível compreender que embora a taxa de sucesso seja ótima para as velocidades de 50, 70 e 80 km/h, o mesmo não se verifica para a velocidade máxima testada de 100 km/h.

Seguindo esta mesma linha, combinando estes resultados com os obtidos anteriormente em ambiente de laboratório, decidiu-se avançar para a mesma plataforma, *Raspberry Pi 2*, mas sem a utilização de uma rede protegida. Embora uma taxa de sucesso de 80% possa ser considerada, em alguns casos, uma notória taxa de sucesso, o facto destes protótipos estarem associados à comunicação da via com o condutor levou à procura de uma solução mais eficaz. Assim, é de extrema importância que as taxas de sucesso com que se obtêm este tipo de módulos seja sempre de 100% de modo a garantir a segurança do utilizador da via.

4.3.2 Teste de Funcionamento em Ambiente Real Não Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma *Raspberry Pi 2*

Após os resultados obtidos na secção anterior, procedeu-se à alteração da protecção da rede, passando de uma rede protegida por palavra-passe para uma rede não protegida. Estes testes em ambiente real devem complementar os resultados já obtidos em laboratório.

Numa primeira análise, este teste na via de circulação vai permitir verificar se existe um aumento da taxa de sucesso quando se retira a protecção por palavra-chave da rede gerada pelo sinal de trânsito. As velocidades testadas neste segundo teste, usando o *Raspberry Pi 2* foram as de 50, 70 e 100 km/h. Neste teste optou-se por excluir a velocidade de 80 km/h uma vez que no teste em que, possivelmente, se iriam obter os piores resultados, foram obtidas taxas de sucesso de 100%, não sendo, por isso, necessária a confirmação do sucesso a esta velocidade.

Neste teste, tal como no anterior, a taxa de sucesso é definida como o número de vezes em que a comunicação entre os dois módulos do protótipo é bem-sucedida, em relação ao número de vezes que a comunicação é testada. Na **Tabela 4.8** são apresentadas as taxas de sucesso para cada uma das velocidades, que foram mantidas constantes ao longo dos testes.

Tabela 4.8 - Taxas de Sucesso em Ambiente Real a Diferentes Velocidades Não Utilizando Palavra-Passe na Rede e a Plataforma Raspberry Pi 2. Foram realizadas 15 medições em cada uma das velocidades.

| | 50 km/h | 70 km/h | 100km/h |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Taxa de Sucesso | 100% | 100% | 93.3% |

De acordo com os dados da tabela é possível verificar que, tal como no teste anterior, as taxas de sucesso são ótimas para as velocidades de 50 e 70 km/h. Contudo, cabe salientar que a taxa de sucesso para um veículo em circulação na via a uma velocidade constante de 100 km/h ainda não é ótima, embora apresente uma melhoria quando comparada com a anterior.

É, também, de realçar que a principal diferença entre este teste e o teste realizado anteriormente reside apenas na configuração proteção da rede do módulo a instalar no sinal de trânsito. Para melhor compreender esta diferença, no próximo subcapítulo vão ser apresentados, detalhadamente, os tempos de funcionamento.

4.3.3 Comparação de tempos de Conexão em Ambiente Real a Diferentes Velocidades Utilizando Palavra-Passe e a Plataforma *Raspberry Pi 2*

Para uma melhor observação das diferenças entre a proteção e a não-proteção de rede nos módulos a instalar no sinal de trânsito, decidiu-se que seria importante uma análise mais detalhada dos tempos de funcionamento, nomeadamente do tempo de conexão à rede veicular escolhida (Conexão). Ainda que existam outros tempos que poderiam ser analisados neste capítulo, só faz sentido escolher o tempo de conexão porque é o único que está diretamente relacionado com a proteção (ou não) da rede. Na **Figura 4.1** estão representadas as diferenças do tempo de conexão das duas situações às velocidades de 50, 70 e 100 km/h.

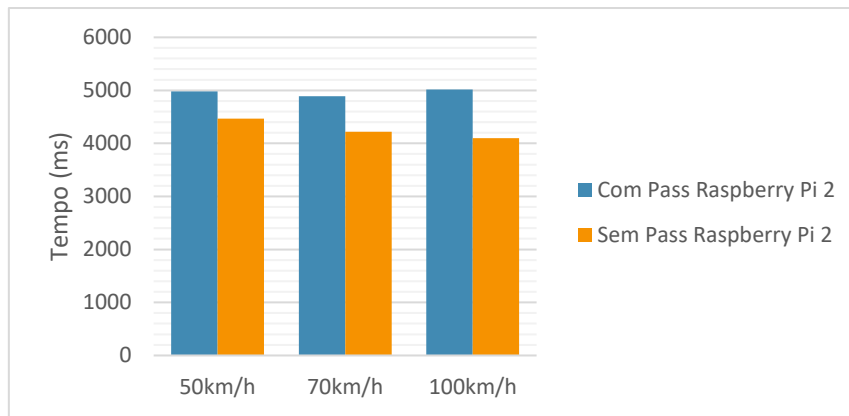


Figura 4.1 - Gráfico ilustrativo da comparação entre o tempo de conexão para os módulos Raspberry Pi 2 com proteção de rede ("Com Pass Raspberry Pi 2", a azul) e para o módulo Raspberry Pi 2 sem proteção de rede ("Sem Pass Raspberry Pi 2", a cor-de-laranja). As velocidades comparadas para ambos os módulos foram de 50, 70 e 100 km/h.

De acordo com a análise do gráfico, pode verificar-se que quando é retirada a proteção por palavra-passe do módulo a instalar no sinal de trânsito, o tempo de conexão é sempre inferior ao medido quando o módulo do veículo se tenta ligar ao módulo do sinal de trânsito com rede protegida. Esses decréscimos nos tempos de conexão podem chegar até 1 segundo.

Podemos, também, verificar que para a velocidade máxima estudada, 100 km/h, o tempo de conexão é o mais baixo. Esta situação faz com que esta alteração da proteção da rede seja a mais apropriada para implementar num sistema de ambiente real.

4.3.4 Comparação entre as Plataformas não Utilizando Palavra-Passe na Rede, a 100km/h

Com a obtenção de uma situação quase ideal no subcapítulo anterior, procurou-se otimizar ao máximo os resultados obtidos. Uma vez que a taxa de sucesso anterior não foi de 100%, ainda há a possibilidade de se otimizar o sistema. Com este último teste, e tal como feito em ambiente de laboratório, procurou-se perceber qual é o verdadeiro impacto que o *upgrade* do *Raspberry Pi 2* para o *Raspberry Pi 3* tem, agora em ambiente real.

Para este teste, foi apenas escolhida a velocidade de 100 km/h, visto ser a velocidade que ainda tinha que apresentar uma taxa de sucesso de 100%. Novamente, a palavra-chave na rede foi retirada pelos motivos referidos anteriormente e o sistema foi posto em funcionamento a 200 metros do sinal de trânsito. Estabelecidas as características a serem testadas, procedeu-se à obtenção de 15 medições em autoestrada. Note-se que na **Figura 4.2** estão representadas as diferenças entre o *Raspberry Pi 2* e o *Raspberry Pi 3* em relação às medições do tempo de Wi-Fi, do tempo de conexão e do tempo de comunicação a uma velocidade constante de 100 km/h.

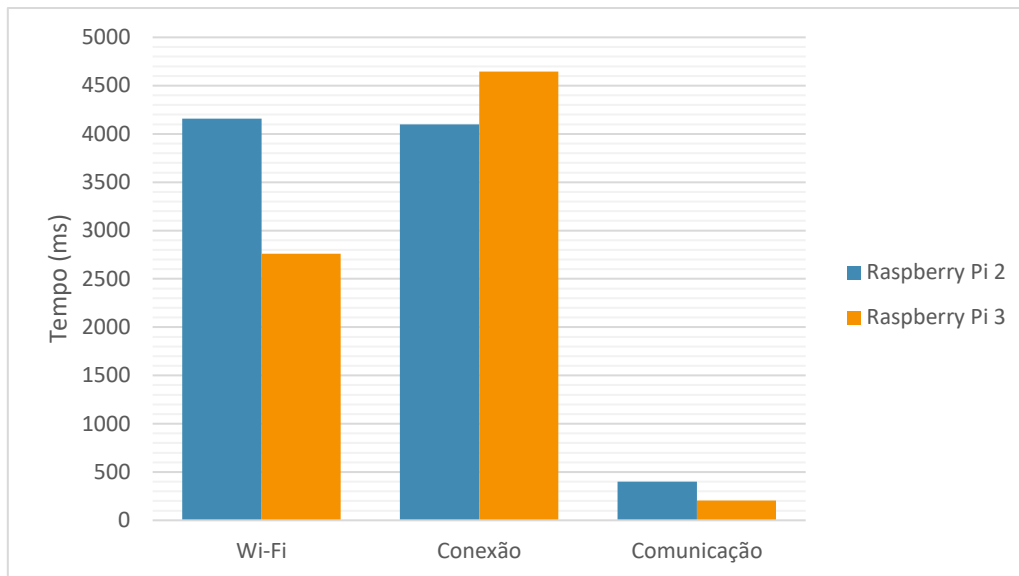


Figura 4.2 - Gráfico ilustrativo da comparação, sem proteção de rede, entre o tempo de Wi-Fi, conexão e comunicação para os módulos Raspberry Pi 2 (a azul) e para o módulo Raspberry Pi 3 (a cor-de-laranja). A velocidade usada para ambos os módulos foi de 100 km/h.

Tendo em conta a análise do gráfico apresentado, várias conclusões podem ser retiradas acerca do funcionamento, em ambiente real, do módulo *Raspberry Pi 3*. Globalmente, o tempo total de ligação é menor. Sem embargo, quando se analisam os tempos parciais, é possível verificar algumas alterações não esperadas em relação aos resultados obtidos anteriormente.

Desta feita e analisando o tempo Wi-Fi (tempo de seleção e procura das redes veiculares) é possível concluir que a utilização deste *upgrade* de módulo permite que haja um decréscimo acentuado no intervalo de tempo em que o módulo procura e seleciona a rede correta de ligação. O mesmo resultado é verificado no tempo de comunicação, que é o tempo de troca de mensagens entre os módulos constituintes do protótipo. Contudo, é observado um resultado não esperado no tempo de conexão do módulo *Raspberry Pi 3* (a instalar no sinal) ao módulo ESP (a instalar no veículo). Este atraso verificado pode dever-se à velocidade que foi testada, uma vez que o veículo se desloca a 100 km/h, e neste sentido, há uma aproximação mais rápida do módulo ESP ao módulo *Raspberry Pi 3* mas há, também, consequentemente, um afastamento mais rápido dos dois módulos. Este afastamento pode explicar, em parte, o aumento verificado.

4.3.5 Análise do tempo de resposta em Modo Simples

Para uma melhor observação do tempo de resposta do sistema quando actuado em modo simples e em ambiente real, foi analisado, dos diferentes testes realizados entre as plataformas ESP e

Raspberry Pi 3, o tempo de procura e análise das redes envolventes denominado por tempo de Wi-Fi. Na **Tabela 4.9** são apresentados os tempos de ligação.

Tabela 4.9 - Tempos de Ligação Wi-Fi da Plataforma ESP à plataforma Raspberry 3 com respectiva análise das redes envolventes. Foram realizadas 15 medições nas mesmas condições e o tempo de procura e análise foi medido em segundos.

| Medição n° | Tempo (segundos) |
|------------|------------------|
| 1 | 2.403 |
| 2 | 2.387 |
| 3 | 2.414 |
| 4 | 2.422 |
| 5 | 2.393 |
| 6 | 2.417 |
| 7 | 2.453 |
| 8 | 2.462 |
| 9 | 2.393 |
| 10 | 2.417 |
| 11 | 2.394 |
| 12 | 2.453 |
| 13 | 2.363 |
| 14 | 2.386 |
| 15 | 2.384 |

Analisando o tempo Wi-Fi (tempo de seleção e procura das redes veiculares), cuja média foi de 2.409 segundos, é possível concluir que existe oportunidade para um *upgrade* do módulo a instalar no veículo para permitir que haja um decréscimo acentuado no intervalo de tempo em que o módulo procura e seleciona e analisa a rede correta para efectuar a ligação.

5 Conclusão e perspectivas futuras

Em modo de conclusão, cabe enfatizar que a introdução de sinais de trânsito nas vias públicas com capacidade de enviar informação para os veículos que nela circulam poderá ajudar os condutores a cumprirem o código da estrada, contribuindo assim para a diminuição do número de acidentes rodoviários, assim como a redução do tempo para percorrer um percurso e o aumento da comodidade dos utilizadores dos veículos.

Neste trabalho, procurou-se identificar as características que serão necessárias adicionar aos sinais de trânsito para implementar um sistema de comunicação sem fios com os veículos. Desenvolveu-se ainda um protótipo constituído por dois módulos, um a instalar no sinal de trânsito e o outro a instalar no veículo. O protótipo a instalar no veículo permite que este, ao passar pelo sinal de trânsito, receba informação e a disponibilize ao seu condutor.

Remetendo para o capítulo **Trabalhos Relacionados**, concluímos que a tecnologia a ser utilizada para a comunicação sem fios entre os módulos constituintes do sistema seria o *Wi-Fi*, por ter tido grande ênfase nos principais projectos europeus. O protocolo a ser utilizado durante esta dissertação foi o HTTP e o método POST. As mensagens foram definidas e foi utilizado o formato JSON, por ser mais fácil de interpretar por parte do utilizador.

Integrando agora o enquadramento teórico com o desenvolvimento prático dos módulos, concluiu-se, no capítulo Contribuições, que seriam utilizados ESP e *Raspberry Pi 2* e *3* para ir de encontro das especificações propostas.

No capítulo **Testes Realizados e Análise de Resultados** apresentaram-se os resultados dos testes efetuados para compreender qual o tempo de ligação do Wi-Fi entre ESP-ESP, entre ESP-*Raspberry 2* e entre ESP-*Raspberry 3*. Os resultados obtidos para o teste ESP-ESP revelaram que estas plataformas, quando usadas em ambos os módulos, não corresponderam às expetativas, pois o tempo de ligação foi de 4.42 segundos, em média – muito lento quando comparado com a

utilização do *Raspberry Pi 2* (3.68 segundos, em média). Assim, estas medições foram realizadas quando a ligação à rede sem fios era conhecida. Em contrapartida, em ambiente real, é necessária a implementação da função “procura de rede”; esta função introduziu um atraso de cerca de 3.88 segundos ao sistema, fazendo com que a ligação média dos módulos ESP-*Raspberry Pi 2* seja de 7.57 segundos. A partir destas primeiras medições foi possível concluir que a plataforma mais rápida para o módulo a instalar no sinal de trânsito é o *Raspberry Pi 2*.

Seguidamente, foi testada a plataforma *Raspberry Pi 3* para perceber quão mais rápida esta podia ser quando comparada com a sua versão anterior (com um dongle Wi-Fi adicionado). Além de serem testadas as diferentes versões do *Raspberry*, foi também comparado o impacto que tem a proteção da rede Wi-Fi no tempo total da ligação.

Nos resultados obtidos para a comparação de módulos, reiteramos que o tempo que sofre mais alterações é o tempo de conexão ao Wi-Fi, sem proteção por palavra passe. Esta diferença pode dever-se à existência, no *Raspberry Pi 3*, de um módulo de Wi-Fi integrado que facilita a conexão à rede escolhida. Note-se que a implementação de uma rede protegida com palavra-passe introduz um atraso de quase 1 segundo – por esta razão, a proteção da rede com palavra-passe foi excluída para a implementação do protótipo final.

Todos os testes realizados até este ponto estavam situados em ambiente de laboratório; não obstante, os testes em ambiente real servem para que todos os fatores externos aos módulos possam ser tidos em conta no tempo de ligação. Foram realizados testes a três velocidades constantes – 50, 70 e 100 km/h – para os protótipos constituídos pelo ESP que vai ser instalado no veículo e pelo *Raspberry Pi 2* ou *3* a ser instalados no sinal de trânsito. Foram também testadas as ligações com e sem palavra passe para garantir que eram obtidas as mesmas conclusões nos dois ambientes.

Como resultado conclusivo destes testes, para uma taxa de sucesso de 100%, verificou-se que o módulo mais preciso e rápido foi a utilização, no veículo, do ESP e no sinal de trânsito, do *Raspberry Pi 3*. Analisando o tempo Wi-Fi, verificou-se que a utilização deste upgrade de módulo permite que haja um decréscimo no intervalo de tempo em que o módulo procura e seleciona a rede correta de ligação, assim como no tempo de comunicação entre os módulos constituintes do protótipo.

Apesar dos testes realizados revelarem resultados positivos e ser possível garantir a interação entre veículos e sinais de trânsito para velocidades compreendidas entre os 50 km/h e os 100km/h, é de referir que existem ainda obstáculos e metas que necessitam de ser ultrapassadas. Tentou-se, assim, superar alguns dos obstáculos, através da abordagem em dois modos, o completo e o simples.

Ao analisar todas as redes envolvidas, mesmo que ocorram falhas de comunicação ou erros durante a troca de mensagens, é obtida a informação relativa ao sinal de trânsito através dos nomes atribuídos às redes por eles geradas. O *hardware* utilizado não foi tão potente quanto seria desejado, visto que o ESP não possui uma antena externa. Por vezes, em velocidades mais elevadas, como é o caso de 100km/h ocorrem falhas na comunicação e a informação não é recebida antecipadamente, como seria desejado.

Concluindo, cumpriram-se os objetivos estabelecidos, definiu-se a uma nova interação que pode existir entre veículos e sinais de trânsito, desenvolveu-se o protótipo para servir de suporte, no entanto, existe ainda espaço para melhoramentos.

Perspetivando um melhoramento do sistema desenvolvido, no futuro, pode ser testada a interação *Raspberry Pi 3 – Raspberry Pi 3* com o objetivo de disponibilizar mais recursos ao veículo, um processamento mais rápido e ainda a possibilidade de armazenar dados obtidos com a nova interação. Além de ser testada esta interação, modificando a plataforma do lado do cliente, podem ainda ser exploradas mais potencialidades caso este possua também um servidor.

Outro possível melhoramento que urge a necessidade destacar é a segurança. Num futuro pode ser estudada a possibilidade de ataques externos e melhorada a segurança na troca de informação garantindo a encriptação dos dados trocados.

Assinalamos, ainda, como uma perspetiva futura, que seria interessante que este estudo fosse alvo de continuidade e que os sinais de trânsito pudessem comunicar entre si. No nosso ponto de vista, esta comunicação teria o objetivo de enviar aos veículos, não só informação sobre o sinal de trânsito ao qual se ligaram, como também dos sinais de trânsito vizinhos, garantindo e assegurando que os veículos recebem sempre a informação de forma antecipada.

Referências

- [1] K. A. Brookhuis, D. De Waard, and W. H. Janssen, “Behavioural impacts of advanced driver assistance systems—an overview,” *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 245–253, 2001.
- [2] S. h. An, B. H. Lee and D. R. Shin, “A Survey of Intelligent Transportation Systems,” *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, Bali, 2011, pp. 332-337.
- [3] D. C. M. Wei, R. de Sousa Pissardini, and E. S. da Fonseca Junior, “CONVERGÊNCIA DE VEÍCULOS INTELIGENTES E VEÍCULOS AUTÔNOMOS,” Anpet XXVII: Caderno de resumos, 2013.
- [4] I. Sebanja and D. B. Megherbi, “Automatic detection and recognition of traffic road signs for intelligent autonomous unmanned vehicles for urban surveillance and rescue,” *2010 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham, MA, 2010, pp. 132-138.
- [5] A. Mammeri, E. H. Khiari and A. Boukerche, “Road-Sign Text Recognition Architecture for Intelligent Transportation Systems,” *2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*, Vancouver, BC, 2014, pp. 1-5.
- [6] J. Martins, “Segurança Ferroviária,” Nov-2014. [Online]. Available: http://www.trainlogistic.com/pt/Imprensa/Artigos/14_11_seguranca.htm. [Accessed: 30-Nov-2016].
- [7] C. Mendes, “Optimização da Afectação de Recursos à Produção de Serviços da CP Regional,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2009.
- [8] “convel.jpg (325×265).” [Online]. Available: <https://cpkids.cp.pt/StaticFiles/Kids/imagens/abc-comboio/glossario/convel.jpg>. [Accessed: 18-Jan-2017].
- [9] “EAR-IT: Using sound to picture the world in a new way,” *Digital Single Market*. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ear-it-using-sound-picture-world-new-way>. [Accessed: 02-Feb-2017].
- [10] “Acoustic technologies: A niche of future European research and innovation,” *Digital Single Market*. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single->

- market/en/blog/acoustic-technologies-niche-future-european-research-and-innovation. [Accessed: 07-Feb-2017].
- [11] “In the smart city of Santander the walls have ears,” *euronews*, 13-Oct-2014. [Online]. Available: <http://www.euronews.com/2014/10/13/in-the-smart-city-of-santander-the-walls-have-ears>. [Accessed: 09-Feb-2017].
 - [12] G. Toulminet, J. Boussuge and C. Lurgeau, “Comparative synthesis of the 3 main European projects dealing with Cooperative Systems (CVIS, SAFESPOT and COOPERS) and description of COOPERS Demonstration Site 4,” *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, 2008, pp. 809-814.
 - [13] “Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems,” *TRIP*, 21-May-2015. [Online]. Available: <http://www.transport-research.info/project/cooperative-vehicle-infrastructure-systems>. [Accessed: 24-Jan-2017].
 - [14] P. Kompfner, “Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems,” Relatório de Actividade, Aug. 2010.
 - [15] “Co-operative Networks for Intelligent Road Safety,” *TRIP*, 09-Jul-2013. [Online]. Available: <http://www.transport-research.info/project/co-operative-networks-intelligent-road-safety>. [Accessed: 30-Jan-2017].
 - [16] J. Piao, M. McDonald, and N. Hounsell, “Cooperative vehicle-infrastructure systems for improving driver information services: an analysis of COOPERS test results,” *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 1, p. 9, 2012.
 - [17] “Safespot.” [Online]. Available: <http://www.safespot-eu.org/>. [Accessed: 26-Jan-2017].
 - [18] R. Brignolo, “The Fully Networked Car,” Geneva, 07-Mar-2008.
 - [19] O. Berder *et al.*, “Cooperative communications between vehicles and intelligent road signs,” *2008 8th International Conference on ITS Telecommunications*, Phuket, 2008, pp. 121-126.
 - [20] P. Bosc, O. Sentieys, F. Peyret, C. Ray, J. Bonnin, and Y. Roux, “GIS ITS Bretagne: status and perspectives,” 2006, pp. 898–900.
 - [21] “Quem Somos,” *Via Verde*. [Online]. Available: <http://www.viaverde.pt/quem-somos>. [Accessed: 08-Feb-2017].
 - [22] R. Matos Abreu, “PROJECTO DE UM RECEPTOR DE MICROONDAS PARA USO EM SISTEMAS DSRC/RTTT,” Universidade de Aveiro, 2007.
 - [23] D. Simões, “Sistema de Fidelização sobre NFC (Near Field Communication),” Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.
 - [24] “Expresso | Portugueses criam duas invenções por dia,” *Jornal Expresso*. [Online]. Available: <http://expresso.sapo.pt/sociedade/portugueses-criam-duas-invencoes-por-dia=f598575>. [Accessed: 07-Feb-2017].
 - [25] A. Bhawiyuga, R. A. Sabriansyah, W. Yahya, and R. E. Putra, “A Wi-Fi based Electronic Road Sign for Enhancing the Awareness of Vehicle Driver,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 801, p. 012085, Jan. 2017.

- [26] K. Dar, M. Bakhouya, J. Gaber, M. Wack, and P. Lorenz, "Wireless communication technologies for ITS applications [Topics in Automotive Networking," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 5, pp. 156–162, May 2010.
- [27] "Breadboard and Program an ESP-01 Circuit with the Arduino IDE." [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/breadboard-and-program-an-esp-01-circuit-with-the-arduino-ide/>. [Accessed: 23-Sep-2017].
- [28] "WiFi Module - ESP8266 - WRL-13678 - SparkFun Electronics." [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/13678>. [Accessed: 18-Jun-2017].
- [26] "Raspberry Pi 2 Model B," Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>. [Accessed: 18-Jun-2017]
- [30] "SMC." [Online]. Available: <http://www.smc.com/en-global/products/product/45/0>. [Accessed: 25-Jun-2017].
- [31] "Raspberry Pi 3 Model B," *Raspberry Pi*. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Accessed: 22-Aug-2017].
- [32] J. Santa, F. Pereñíguez, A. Moragón and A. F. Skarmeta, "Vehicle-to-infrastructure messaging proposal based on CAM/DENM specifications," *2013 IFIP Wireless Days (WD)*, Valencia, 2013, pp. 1-7.

Anexos

Anexo 1 – Código ESP - Veículo

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

const char* ssid = "Cliente";
const char* password = "clientepassword";//minimo 8 caracteres

IPAddress ip(192, 168, 4, 2); //ap ip
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); //default
ESP8266WebServer server(80); //o servidor esta a correr na porta 80

String sendInfo =
"{\"ip\": \"192.168.4.2\", \"vel\": 120, \"lat\": 38, \"long\": 40, \"dir\": \"ns\"}";
String serverPOSTURL = "http://192.168.4.1/cars";
String serverGETURL = "http://192.168.4.1/info";

int timeout = 500;

String handleRootHTML() {
    String rootHTML = "<!DOCTYPE HTML PUBLIC >"
        "<html>"
        "<head>"
        "<META http-equiv=\"Content-Type\" "
content="\"text/html; charset=utf-8\">"
        "</head>"
        "<body>"
        "<div>"
        "<h1 style=\"text-align:center\">Cliente</h1>"
        "</p>"
        "</div>"
        "</body>"
        "</html>";
```

```

    server.send(200, "text/html", rootHTML);           //Response to the
HTTP request
}

void handleSigns() {

    String data = server.arg("plain");
    StaticJsonBuffer<200> jBuffer;
    JsonObject& jobject = jBuffer.parseObject(data);

    String ip = jobject["ip"];
    String type = jobject["type"];
    String info = jobject["info"];

    String message = "Received message from sign: ";
    message += ip;
    message += " with type: ";
    message += type;
    message += ", with the following information: ";
    message += info;
    message += "";

    server.send(200, "text/plain", message);
}

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);

    Serial.println("Configuring access point...");

    //Set WiFi mode to AP
    WiFi.mode(WIFI_AP);

    //criar ponto de acesso
    WiFi.softAPConfig(ip, ip, subnet);
    WiFi.softAP(ssid,password);

    //obter IP do access point
    //IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
    Serial.print("AP IP address: ");
    Serial.println(ip);

    //Define pages
    server.on("/", handleRootHTML);
    server.on("/signs", handleSigns);

    //Begin Server
    server.begin();
    Serial.println("Server listening");
}

void loop() {

    //WiFi.begin("Server", "serverpassword"); //WiFi connection
    WiFi.begin("RoadSign$38.41$9.87", "password");

    unsigned long StartTime = millis();

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //Wait for the WiFi
connection completion

```

```

    delay(10);
    //Serial.println("Waiting for connection");

}
unsigned long CurrentTime = millis();
unsigned long ElapsedTime = CurrentTime - StartTime;

Serial.print("Tempo que passou: ");
Serial.println(ElapsedTime);

server.handleClient();

if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){    //Check WiFi connection status

    HTTPClient http;    //Declare object of class HTTPClient

    http.begin(serverPOSTURL);    //Specify request
destination
    http.addHeader("Content-Type", "text/plain"); //Specify content-
type header

    int httpCode;

    do{
        httpCode = http.POST(sendInfo);    //Send the request
        String payload = http.getString();    //Get the response payload

        Serial.println(httpCode);    //Print HTTP return code
        Serial.println(payload);    //Print request response payload

        delay(timeout);
    } while(httpCode != 200);

    http.end(); //Close connection

    http.begin(serverGETURL);    //Specify request destination
    http.addHeader("Content-Type", "text/plain"); //Specify content-
type header

    String response = "";
    do{
        httpCode = http.GET();    //Send the request
        response = http.getString();    //Get the response payload

        Serial.println(httpCode);    //Print HTTP return code
        Serial.println(response);    //Print request response payload

        delay(timeout);
    } while(httpCode != 200);

    StaticJsonBuffer<200> jBuffer;
    JsonObject& jobject = jBuffer.parseObject(response);

    String ipServerAdress = jobject["ip"];
    String serverType = jobject["type"];
    String serverInfo = jobject["info"];

    String infos = "Server Adress IP: ";
    infos += ipServerAdress;

```

```
infos += "\nServer type: ";
infos += serverType;
infos += "\nServer info: ";
infos += serverInfo;

Serial.println(infos);

http.end(); //Close connection
WiFi.disconnect();
}
else{
    Serial.println("Error in WiFi connection");
}
}
```

Anexo 2 – Código ESP - Sinal de Trânsito

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

const char* ssid = "RoadSign$50$29";
const char* password = "password";//minimo 8 caracteres

IPAddress ip(192, 168, 42, 1); //ap ip
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); //default
ESP8266WebServer server(12345); //o servidor esta a correr na porta
12345

String sendInfo =
"{\"ip\": \"192.168.4.1\", \"type\": \"stop\", \"info\": \"Trave e
Observe\"}";

String handleRootHTML() {
    String rootHTML = "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"\"-//W3C//DTD HTML 4.01
Transitional//EN\"\">\"
        \"<html>\"
        \"<head>\"
        \"<META http-equiv=\"\"Content-Type\"\"
content=\"\"text/html; charset=utf-8\"\">\"
        \"</head>\"
        \"<body>\"
        \"<div>\"
        \"<h1 style=\"\"text-align:center\"\">Sinal de
Radar</h1>\"
        \"<p style=\"\"text-align:center\"\">Aproximação a um
radar de Controlo de Velocidade.</p>\"
        \"<p style=\"\"text-align:center\"\">Sinal de Aviso</p>\"
        \"<p style=\"\"text-align:center\"\">Rua António
Galvão.</p>\"
        \"<p style=\"\"text-align:center\"\">Km 5<br>\"
        \"</p>\"
        \"</div>\"
        \"</body>\"
        \"</html>\";

    server.send(200, \"text/html\", rootHTML); //Response to the
HTTP request
}

void handleCars() {

    String data = server.arg(\"plain\");
    StaticJsonBuffer<200> jBuffer;
    JsonObject& jobject = jBuffer.parseObject(data);

    String plate = jobject[\"plate\"];
    int velocity = jobject[\"vel\"];
    int latitude = jobject[\"lat\"];
    int longitude = jobject[\"long\"];
    String direct = jobject[\"dir\"];
```

```

String message = "Received message from car: ";
message += plate;
message += " with velocity: ";
message += String(velocity);
message += ", gps coords(";
message += String(latitude);
message += ", ";
message += String(longitude);
message += ") going in the direction: ";
message += direct;

server.send(200, "text/plain", message);
}

void handleInfo() {
  server.send(200, "text/plain", sendInfo);
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Configuring access point...");

  //Set WiFi mode to AP
  WiFi.mode(WIFI_AP);

  //criar ponto de acesso
  WiFi.softAPConfig(ip, ip, subnet);
  WiFi.softAP(ssid,password);

  //obter IP do access point
  //IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(ip);

  //Define pages
  server.on("/", handleRootHTML);
  server.on("/cars", handleCars);
  server.on("/info", handleInfo);

  //Begin Server
  server.begin();
  Serial.println("Server listening");
}

void loop() {
  server.handleClient();
}

```


Anexo 3 – Código ESP Final – Veículo

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <TinyGPSPlus.h>

//*****Variaveis do GPS*****
TinyGPSPlus gps; //Biblioteca do GPS
int validGPS = -1;
int attemptsGPS = 0; //Numero de Tentativas do GPS

//*****Variaveis WiFi*****
int WiFiFound = 0; //WiFi do Tipo correcto
int attempts = 0; //Numero de Tentativas do POST
String Best_SSID = "";
String Last_SSID = "";

//*****Declaracao da Rede a ser Criada pelo Cliente*****
const char* ssid = "RV_04-50-VL";
const char* password = "clientepassword";//minimo 8 caracteres

//*****Declaracao do Servidor do
Cliente*****
IPAddress ip(192, 168, 4, 2); //ap ip
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); //default
ESP8266WebServer server(80); //o servidor esta a correr na
porta 80

//*****Ligacao ao Raspberry*****
String serverPOSTURL = "http://192.168.42.1:12345/info";
//String serverGETURL = "http://192.168.42.1:12345/other";

//*****String com as informações que vão ser enviadas para o
Raspberry*****
String sendInfo = "{\"plate\":\"04-50-
VL\",\"vel\":120,\"lat\":38,\"long\":40,\"dir\":\"ns\"}";

//*****Contadores*****
unsigned long StartGPSTime, GPSTime, EndGPSTime;
unsigned long StartWiFiTime, WiFiTime, EndWiFiTime;
unsigned long StartConnectionTime, ConnectionTime, EndConnectionTime;
unsigned long StartCommunicationTime, CommunicationTime,
EndCommunicationTime, TotalTime;

void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(38400); //Por causa do GPS

    Serial.println("Configuring access point...");

    //Set WiFi mode to AP
    WiFi.mode(WIFI_AP);
```

```

//criar ponto de acesso
WiFi.softAPConfig(ip, ip, subnet);
WiFi.softAP(ssid,password);

//obter IP do access point
//IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
Serial.print("AP IP address: ");
Serial.println(ip);

//Define pages
server.on("/", handleRootHTML);

//Begin Server
server.begin();
Serial.println("Server listening");
}

void loop(){

    server.handleClient();
    delay(50);

    StartGPSTime = millis();

    //*****INFO GPS*****
    buildCarInfo(); //Build All the Car Informations

    EndGPSTime = millis();
    GPSTime = EndGPSTime - StartGPSTime;

    StartWiFiTime = millis();
    //*****Procura e Seleccao da rede*****
    while(WiFiFound == 0)
        WifiSearch();

    EndWiFiTime = millis();
    WiFiTime = EndWiFiTime - StartWiFiTime;

    StartConnectionTime = millis();
    //WiFi.begin("rs_38.6608_-9.2048_ns_stop", "");
    //WiFi.begin("rs_$50$29","");
    WiFi.begin(Best_SSID.c_str(), "");
    Last_SSID = Best_SSID;

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //Wait for the WiFi
connection completion
        delay(5);
        Serial.print(".");
    }

    EndConnectionTime = millis();
    ConnectionTime = EndConnectionTime - StartConnectionTime;

    Serial.println("WiFi ligado");

    StartCommunicationTime = millis();

    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) //Check WiFi connection status
    {

        HTTPClient http; //Declare object of class HTTPClient

```

```

    http.begin(serverPOSTURL); //Specify request
destination
    http.addHeader("Content-Type", "text/plain"); //Specify content-
type header

    int httpCode;
    String response = "";

    do{
        httpCode = http.POST(sendInfo); //Send the request
        String payload = http.getString(); //Get the response payload

        //Serial.println(httpCode); //Print HTTP return code
        //Serial.println(payload); //Print request response payload

        handleSigns(payload);

        //delay(50);
        atempts = atempts + 1;

        //if(atempts == 1)
        //Serial.println("Atempts exceeded");

    } while(httpCode != 200 && atempts < 1);

    http.end(); //Close connection
    WiFi.disconnect();
    Serial.println("Conexao encerrada");

    EndCommunicationTime = millis();
    CommunicationTime = EndCommunicationTime - StartCommunicationTime;

    WiFiFound = 0;
    atempts = 0;
}
else{
    Serial.println("Error in WiFi connection");
}

Serial.print("Tempo que passou no GPS: ");
Serial.println(GPSTime);

Serial.print("Tempo que passou a procurar WiFi: ");
Serial.println(WiFiTime);

Serial.print("Tempo que passou Conexao: ");
Serial.println(ConnectionTime);

Serial.print("Tempo que passou Comunicacao: ");
Serial.println(CommunicationTime);

Serial.print("Tempo que passou Total: ");
TotalTime = GPSTime + WiFiTime + ConnectionTime +
CommunicationTime;
Serial.println(TotalTime);
Serial.println("");

}

//*****

```

```

//***** GPS *****
//*****
void buildCarInfo()
{
    sendInfo = "{\"plate\":\"04-50-VL\",\"vel\":120,\"";

    while (validGPS == -1 && atemptsGPS < 80)
    {
        //Serial.println("Estou no WHILE");
        if (gps.encode(Serial.read()))
        {
            //Serial.println("Estou no Build Car INFO");
            updateGPSdata();
            //atemptsGPS = 0;
        }
        delay(15);

        atemptsGPS = atemptsGPS + 1;
        //Serial.print("validGPS: ");
        //Serial.println(validGPS);

    }

    if(atemptsGPS == 80){
        //Serial.println("Tentativas GPS Excedidas");
        sendInfo += "\"lat\":";
        sendInfo += "-1";
        sendInfo += "\",\"long\":";
        sendInfo += "-1";
        sendInfo += ",";

        atemptsGPS = 0;
    }

    validGPS = -1;
    sendInfo += "\"dir\":"ns\"}";
    //Serial.println("Tentativas GPS: ");
    //Serial.print(atemptsGPS);
    //Serial.println();
    atemptsGPS = 0;
}

void updateGPSdata()
{
    Serial.println("DADOS DO GPS:");
    Serial.print(F("Location: "));
    if (gps.location.isValid())
    {
        sendInfo += "\"lat\":";
        sendInfo += gps.location.lat();
        Serial.print("Latitude:");

        Serial.print(gps.location.lat(), 6);
        sendInfo += "\",\"long\":";
        sendInfo += gps.location.lng();

        sendInfo += ",";

        Serial.print(" Longitude:");
        Serial.println(gps.location.lng(), 6);
        validGPS = 1;
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        sendInfo += "\"lat\":";
        sendInfo += "-1";
        sendInfo += ", \"long\":";
        sendInfo += "-1";
        sendInfo += ", ";

        validGPS = 1 ;
        Serial.println("GPS INVALIDO");
    }
}

//*****
//*****      Wi-Fi Search      *****
//*****

void WifiSearch() {

    // WiFi.scanNetworks will return the number of networks found
    //Serial.println("Scan Start");

    int n = 0;
    int Best_RSSI = -100;
    int i;

    while( n == 0)
    {
        n = WiFi.scanNetworks();
        //Serial.println("scan done");

        if (n == 0)
            Serial.println("No networks Found");
        else
        {
            //Serial.print(n);
            //Serial.println(" Networks Found");
            for (i = 0; i < n; ++i)
            {
                // Print SSID and RSSI for each network found
                //Serial.print(i + 1);
                //Serial.print(": ");
                //Serial.print(WiFi.SSID(i));
                //Serial.print(" ");
                //Serial.print(WiFi.RSSI(i));
                //Serial.println(" ");
                //Serial.println((WiFi.encryptionType(i) == ENC_TYPE_NONE)?"
":"*");
                delay(10);
                //Serial.println("-----");
                if(WiFi.SSID(i).startsWith("rs") && WiFi.SSID(i) != Last_SSID)
                {
                    if(WiFi.RSSI(i)> Best_RSSI){
                        Best_SSID = WiFi.SSID(i);
                        Best_RSSI = WiFi.RSSI(i);
                        WiFiFound = 1;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        //Serial.println("-----");
        Serial.print(" Best SSID: ");
        Serial.println(Best_SSID);
        //Serial.println("-----");
    }

    // Wait a bit before scanning again
    delay(50); //Estava a 5000
}
//Serial.println("Ligacao Iniciada");
}

//*****
//*****          handleSigns          *****
//*****
void handleSigns(String response){
    StaticJsonBuffer<200> jBuffer;
    JsonObject& jobject = jBuffer.parseObject(response);

    String signType = jobject["type"];
    String signInfo = jobject["info"];
    String signLat = jobject["lat"];
    String signLong = jobject["long"];

    String infos = "Sign type: ";
    infos += signType;
    infos += " Sign info: ";
    infos += signInfo;
    infos += " Sign lat: ";
    infos += signLat;
    infos += " Sign long: ";
    infos += signLong;

    Serial.println(infos);
}

//*****
//*****          handleRootHTML          *****
//*****
String handleRootHTML() {
    String rootHTML = "<!DOCTYPE HTML PUBLIC >"
        "<html>"
        "<head>"
        "<META http-equiv=\"\"Content-Type\"\" "
content="\"text/html; charset=utf-8\">"
        "</head>"
        "<body>"
        "<div>"
        "<h1 style=\"\"text-align:center\"\">Veículo: 04-50-
VL</h1>"
        "<p>Velocidade média: 50kmH</p>"
        "<p>Inspeccao valida ate: 25-09-2017</p>"
        "<p>Selo pago ate: 25-09-2017</p>"
        "</div>"
        "</body>"
        "</html>";

    server.send(200, "text/html", rootHTML);          //Response to the
HTTP request
}

```

```

/*
http.begin(serverGETURL);          //Specify request destination
http.addHeader("Content-Type", "text/plain"); //Specify content-
type header

do{
  httpCode = http.GET();    //Send the request
  response = http.getString(); //Get the response payload

  Serial.println(httpCode);    //Print HTTP return code
  Serial.println(response);    //Print request response payload

  delay(timeout);
} while(httpCode != 200);

*/

```


Anexo 4 – Teste ESP ↔ Raspberry Pi 2 – Com Procura de Rede, Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório

| ESP- Raspberry c/ Procura de Rede | GPS? (s/n) | Total (ms) | GPS (ms) | Procura Wi-Fi e escolha (ms) | Wi-Fi (Conexão) (ms) | Comunicação (POST e desligar) (ms) |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 | s | 8474 | 1188 | 2460 | 4654 | 172 |
| 2 | s | 8943 | 1188 | 2464 | 5181 | 110 |
| 3 | n | 8043 | 1202 | 2431 | 4233 | 177 |
| 4 | n | 7939 | 1202 | 2414 | 4127 | 196 |
| 5 | n | 8010 | 1157 | 2432 | 4252 | 169 |
| 6 | s | 9883 | 1189 | 2403 | 6090 | 201 |
| 7 | s | 8015 | 1188 | 2381 | 4251 | 195 |
| 8 | n | 8923 | 1202 | 2403 | 5177 | 141 |
| 9 | s | 8086 | 1188 | 2422 | 4233 | 243 |
| 10 | s | 7868 | 1189 | 2403 | 4062 | 214 |
| 11 | s | 7991 | 1189 | 2381 | 4231 | 190 |
| 12 | n | 7983 | 1202 | 2403 | 4177 | 201 |
| 13 | s | 7970 | 1188 | 2392 | 4136 | 254 |
| 14 | n | 7981 | 1202 | 2462 | 4158 | 159 |
| 15 | s | 8089 | 1188 | 2422 | 4256 | 223 |

Anexo 5 - Teste ESP ↔ Raspberry Pi 2 – Com procura de Rede, Não Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório

| ESP- Raspberry c/ Procura de Rede | GPS? (s/n) | Total (ms) | GPS (ms) | Procura Wi-Fi e escolha (ms) | Wi-Fi (Conexão) (ms) | Comunicação (POST e desligar) (ms) |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 | s | 6904 | 1068 | 2426 | 3189 | 221 |
| 2 | s | 8037 | 1067 | 2429 | 4310 | 231 |
| 3 | s | 6983 | 1068 | 2419 | 3244 | 252 |
| 4 | s | 7029 | 1068 | 2400 | 3287 | 274 |
| 5 | n | 7396 | 1202 | 2393 | 3587 | 214 |
| 6 | s | 8986 | 1068 | 2389 | 5301 | 228 |
| 7 | s | 6999 | 1067 | 2490 | 3175 | 267 |
| 8 | s | 7118 | 1068 | 2460 | 3327 | 263 |
| 9 | n | 6957 | 1203 | 2423 | 3107 | 224 |
| 10 | s | 7046 | 1069 | 2429 | 3280 | 268 |
| 11 | s | 6934 | 1188 | 2363 | 3152 | 231 |
| 12 | s | 6978 | 1188 | 2388 | 3152 | 250 |
| 13 | s | 7036 | 1188 | 2384 | 3206 | 258 |
| 14 | s | 6974 | 1189 | 2353 | 3212 | 220 |
| 15 | n | 7045 | 1203 | 2365 | 3232 | 245 |

Anexo 6 – Teste ESP ↔ Raspberry Pi 3 – Com procura de Rede, Não Utilizando Palavra Passe na Rede, em Ambiente de Laboratório

| ESP- Raspberry c/ Procura de Rede | GPS? (s/n) | Total (ms) | GPS (ms) | Procura Wi-Fi e escolha (ms) | Wi-Fi (Conexão) (ms) | Comunicação (POST e desligar) (ms) |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1 | n | 6629 | 751 | 2403 | 3351 | 124 |
| 2 | s | 6919 | 1203 | 2387 | 3208 | 121 |
| 3 | n | 6924 | 1202 | 2414 | 3161 | 147 |
| 4 | n | 6581 | 1007 | 2422 | 3002 | 150 |
| 5 | n | 6931 | 1203 | 2393 | 3207 | 128 |
| 6 | n | 6893 | 1203 | 2417 | 3154 | 119 |
| 7 | n | 6993 | 1203 | 2453 | 3194 | 143 |
| 8 | n | 7001 | 1202 | 2462 | 3190 | 147 |
| 9 | s | 6975 | 1203 | 2393 | 3259 | 120 |
| 10 | n | 6473 | 902 | 2417 | 3027 | 127 |
| 11 | n | 7002 | 1036 | 2394 | 3421 | 151 |
| 12 | n | 6966 | 1203 | 2453 | 3153 | 157 |
| 13 | n | 7028 | 1203 | 2363 | 3338 | 124 |
| 14 | s | 6944 | 1203 | 2386 | 3234 | 121 |
| 15 | n | 7046 | 1202 | 2384 | 3315 | 145 |